

Le rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages et leurs troubles

S. MAJERUS

Université de Liège, Fonds de la recherche scientifique - FNRS, Prof. Steve Majerus, maître de recherche F.R.S.-FNRS. Unité de recherche Psychologie & Neuroscience Cognitives - PsyNCog.
Université de Liège, Boulevard du Rectorat, B33, 4000 Liège, Belgique. Email : smajerus@uliege.be

RÉSUMÉ : Le rôle de la mémoire de travail dans les apprentissages et leurs troubles

Les troubles des apprentissages sont très fréquemment associés à des déficits de la mémoire de travail. Ces déficits sont néanmoins hétérogènes et complexes et nécessitent des cadres théoriques précis pour une évaluation et une interprétation valides. Les modèles actuels de la mémoire de travail suggèrent que la mémoire de travail inclue au moins trois aspects : des interactions avec les connaissances en mémoire à long terme pour le stockage temporaire des informations, des mécanismes permettant le stockage de l'ordre d'apparition des informations, et des mécanismes attentionnels. Ces différents aspects peuvent être altérés de manière sélective dans différents troubles des apprentissages. Cette hétérogénéité des déficits de la mémoire de travail sera illustrée par la situation de l'enfant dyslexique et celle de l'enfant dyscalculique.

Mots clés : *Mémoire de travail – Mémoire court terme – Langage – Ordre sériel – Attention – Dyslexie – Dyscalculie.*

SUMMARY: xxxxx

Learning disorders are very frequently associated with working memory deficits. These deficits are however heterogeneous and complex, requiring a detailed theoretical framework for their valid assessment and interpretation. Current working memory models suggest that working memory is characterized by at least three aspects: interactions with long-term knowledge for the temporary storage of information, mechanisms allowing for the storage of serial order information, and attentional mechanisms. These different aspects can be altered in a selective manner in different learning disorders. The heterogeneity of working memory deficits will be illustrated via the conditions of dyslexia and dyscalculia.

Key words: *Working memory – Short-term memory – Language – Serial order – Attention – Dyslexia – Dyscalculia.*

RESUMEN: xxxxx

xxxxx

Palabras clave: xxx

INTRODUCTION

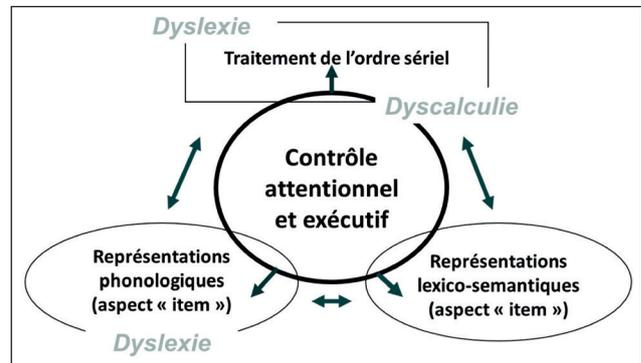
Pendant ses activités scolaires, un enfant doit constamment mémoriser des informations temporaires, que ce soit pour retenir les consignes d'un exercice, pour restituer un nouveau mot de vocabulaire qu'on vient de lui présenter, pour réaliser des calculs mentaux, pour résoudre des problèmes arithmétiques, ou pour comprendre des phrases et des textes. Toute situation nécessitant l'activation temporaire de représentations mentales et leur maintien pendant quelques instants implique cette capacité que représente la mémoire de travail (MT). De nombreuses études ont ainsi montré un lien entre les capacités de MT et différentes situations d'apprentissage tels que l'apprentissage du vocabulaire et le calcul mental (Gathercole, Willis, Emslie & Baddeley, 1992 ; Fung & Swanson, 2017). Des études ont également observé un lien entre les capacités de la MT et la capacité à maintenir et suivre des consignes (Jaroslawska, Gathercole, Logie & Holmes, 2016). De manière plus générale, la MT est associée aux capacités intellectuelles, les mesures de MT étant un déterminant important des capacités d'intelligence fluide (Duncan, Schramm, Thompson & Dumontheil, 2012). De manière importante, les déficits de la MT prédisent les difficultés dans les apprentissages et sont associés à différents troubles des apprentissages (Holmes, Gathercole & Dunning, 2010). En même temps, la mémoire de travail est une fonction cognitive complexe constituée de nombreuses composantes et qui peuvent être altérées de manière sélective. Afin de mieux comprendre les troubles de la MT dans les troubles des apprentissages, il est fondamental de se pencher d'abord de manière précise sur les composantes qui, selon les cadres théoriques actuels, définissent la MT.

LA MT : VERS UN CADRE THÉORIQUE INTÉGRATIF

Différents modèles théoriques de la MT mettent actuellement l'accent sur au moins trois composantes théoriques : les interactions avec les bases de connaissances en mémoire à long terme, les mécanismes permettant le stockage de l'ordre dans lequel les informations à mémoriser ont été présentées (aspect « ordre sériel »), et des mécanismes attentionnels (voir *figure 1* ; voir également, Majerus, 2013, pour une discussion plus détaillée).

Tout d'abord, les connaissances en mémoire à long terme sont un facteur déterminant des capacités de stockage à court terme d'informations, qu'elles soient verbales ou visuelles. De nombreuses études ont montré que le rappel d'informations dépend du caractère familier des informations. Ainsi, dans le domaine verbal, un empan de mots sera plus élevé qu'un empan de non-mots, et ceci dès le plus jeune âge de l'enfant (Majerus & Van der Linden, 2003). En effet, les variables psycholinguistiques qui influencent les performances dans des tâches langagières (tels que la fréquence lexicale ou le degré de concrétude des mots) influencent également les performances dans les tâches de MT verbale (Hulme, Maughan & Brown,

Figure 1. Représentation schématique des principales composantes de la mémoire de travail selon le modèle A-O-WM (Majerus, 2013), et indication des composantes qui sont fréquemment altérées dans la dyslexie et la dyscalculie.



1991 ; Walker & Hulme, 1999). Cela est vrai même pour le rappel de listes de non-mots, où des non-mots composés de combinaisons de phonèmes plus familières dans une langue donnée mènent à de meilleures performances de rappel que des non-mots composés de combinaisons de phonèmes peu fréquentes dans cette langue (effet de fréquence phonotactique : Gathercole, Frankish, Pickering & Peaker, 1999 ; Majerus, Van der Linden, Mulder, Meulemans & Péters, 2004). Ces données suggèrent que les performances dans des tâches de MT verbale reflètent en réalité la structure du système langagier. Dans ce sens, toute tâche de MT verbale est avant tout une tâche langagière, et tout déficit langagier va avoir un impact direct sur les performances dans les tâches de MT verbale. Cet aspect est particulièrement important pour interpréter correctement les performances dans des tâches de MT verbale auprès d'enfants présentant des troubles des apprentissages et des troubles langagiers associés. Beaucoup de modèles de la MT actuels considèrent que l'activation temporaire des représentations du système langagier constitue une caractéristique fondamentale du stockage à court terme d'informations verbales (Acheson & McDonald, 2009 ; Burgess & Hitch, 1999 ; Cowan, 1995 ; Martin & Saffran, 1992). Des constatations similaires ont également été faites récemment dans le domaine de la MT visuo-spatiale, indiquant également un lien très fort entre connaissances en mémoire à long terme et MCT visuo-spatiales. Des études récentes ont en effet montré que les performances dans des tâches de MT sont plus élevées si les objets sont présentés dans ces contextes prototypiques plutôt qu'atypiques (par exemple, une lampe sur un chevet versus une lampe dans une armoire ; Gao, Gao, Tang, Shui & Shen, 2016 ; Kaiser, Stein & Peelen, 2015).

Il est cependant erroné de vouloir réduire la MT à l'activation temporaire de nos bases de connaissances en mémoire long terme. D'autres processus plus spécifiques interviennent également, et ceci notamment en ce qui concerne le stockage de l'ordre sériel dans lequel les informations ont été présentées. Dans de nombreuses situations, les informations à mémoriser présentent une dimension séquentielle arbitraire (comme par exemple un numéro de téléphone non-familier ou la suite de sons d'un mot d'une langue étrangère). Dans ce contexte, l'agencement sériel

des informations ne peut activer des représentations dans nos bases de connaissances, et doit être représenté via des codes spécifiques. Plusieurs études ont montré que les capacités à maintenir l'information « item » (les stimuli à mémoriser et leurs caractéristiques) peuvent être dissociées des capacités à maintenir l'information « ordre sériel », des patients cérébrólésés pouvant présenter des déficits spécifiques pour chacun de ces deux aspects (Majerus, Norris & Patterson, 2007 ; Majerus, Attout, Artielle & Van der Kaa, 2015). Plusieurs études ont également montré que le maintien de l'information « ordre sériel » active des substrats cérébraux différents que ceux impliqués dans le maintien de l'information « item » (Kalm & Norris, 2014 ; Papagno *et al.*, 2017), avec une activation des régions fronto-pariétales (plus particulièrement à droite) pour l'ordre sériel, et les régions fronto-temporales du système langagier pour l'information « item » verbale (Majerus *et al.*, 2006 ; Fiebach, Friederici, Smith & Swinney, 2007). Cette distinction entre aspects « item », dépendant de l'interaction avec les bases de connaissances en mémoire à long terme, et « ordre sériel » est capitale car plusieurs études ont montré que ce sont les capacités de stockage pour l'information « ordre sériel » qui sont les prédicteurs les plus robustes des capacités d'apprentissage de l'enfant. Ainsi, le niveau de connaissances lexicales, l'apprentissage d'un nouveau vocabulaire, l'apprentissage de la lecture et l'apprentissage du calcul mental sont mieux prédits par des tâches de MT qui maximisent la rétention de l'ordre sériel plutôt que la rétention de l'information « item » verbale (par exemple, Attout, Noël & Majerus, 2014 ; Majerus *et al.*, 2006 ; Leclercq & Majerus, 2010 ; Majerus & Boukebza, 2013). Notons que la rétention de l'ordre sériel peut être évaluée par une tâche de reconstruction de l'ordre sériel dans laquelle les enfants entendent des séquences de noms d'animaux, puis ils doivent reproduire l'ordre de présentation des animaux en utilisant des cartons sur lesquels les animaux sont dessinés (tâche de la course des animaux, voir http://www.psyncog.uliege.be/cms/c_3777644/fr/tests-mis-a-disposition). La rétention de l'information « item » verbale peut être évaluée par une tâche de répétition différée de non-mots, les non-mots ayant tous la même structure syllabique (consonne-voyelle-consonne) ; les non-mots étant par ailleurs tous unisyllabiques, cette procédure permet de minimiser l'intervention de processus sériels tout en maximisant le maintien de l'information « item » phonologique (l'identité des phonèmes composant chaque mot ; tâche du château, voir également http://www.psyncog.uliege.be/cms/c_3777644/fr/tests-mis-a-disposition).

Enfin, l'intervention de processus attentionnels reflète un autre aspect essentiel de la MT. Nous pouvons considérer que toute tâche de MT est avant tout une tâche nécessitant du contrôle attentionnel. Même une simple tâche de stockage (nécessitant uniquement le rappel « passif » d'une liste d'informations) implique déjà des processus de contrôle attentionnel : l'enfant doit orienter son attention sur les informations pendant leur présentation afin de traiter les stimuli à mémoriser et de les maintenir dans son champ attentionnel. Ainsi, une tâche de MT est une tâche impliquant des processus d'attention « *top*

down », c'est-à-dire de l'attention dirigée vers une tâche en fonction des buts de la tâche (Cowan, 1995 ; Corbetta & Shulman, 2002 ; Majerus *et al.*, 2016 ; Majerus, Péters, Bouffier, Cowan & Phillips, 2017). Par ailleurs, des études en neuroimagerie fonctionnelle ont montré que les réseaux fronto-pariétaux activés lors de tâches de MT (verbales et visuo-spatiales) incluent notamment le réseau attentionnel dorsal (régions intrapariétales et frontales supérieures) associé à l'attention « *top down* » (Majerus *et al.*, 2016, 2017 ; Todd & Marois, 2004). En outre, le réseau attentionnel dorsal a une relation antagoniste avec le réseau attentionnel ventral (régions temporo-pariétales et fronto-orbitaires) lequel réagit à l'apparition de stimuli inattendus (attention « *bottom up* » ; Majerus *et al.*, 2012 ; Todd, Fougny & Marois, 2005). Le réseau attentionnel ventral se désactive au fur et à mesure que le réseau attentionnel dorsal s'active, et ceci notamment quand le nombre de stimuli à mémoriser en MT augmente, permettant de protéger les informations maintenues en MT de l'apparition de stimuli distracteurs. La MT est donc caractérisée par l'intervention de plusieurs processus attentionnels auxquels il faut encore rajouter une capacité attentionnelle plus passive qui est celle du « focus attentionnel » proposé par Cowan (1995) et qui définit le nombre d'informations dont nous pouvons avoir conscience à un moment donné. Comme nous l'avons déjà mentionné, le contrôle attentionnel intervient déjà dans le maintien « passif » d'informations, mais son implication devient encore plus importante lors de tâches dans lesquelles les informations ne doivent pas seulement être maintenues mais également traitées et manipulées (le terme « mémoire de travail » est parfois réservé à ce dernier type de tâche dite de « stockage et de traitement »). Le contrôle attentionnel sera par ailleurs en interaction avec des processus exécutifs plus spécifiques (inhibition, mise à jour, flexibilité) en fonction du type de traitement qui doit être effectué sur les informations à mémoriser (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki & Howerter, 2000). De manière plus générale, plusieurs études ont montré que les capacités d'attention contrôlée expliquent jusqu'à 30 % de variance dans les tâches de MT (Cowan *et al.*, 2005 ; Majerus, Heiligenstein, Gautherot, Poncelet & Van der Linden, 2009 ; Shipstead, Harrison & Engle, 2014).

En résumé, les tâches de MT, y compris de simples tâches de rappel passif de listes d'informations, sont des tâches complexes nécessitant l'intervention coordonnée de nombreux processus cognitifs (activation des informations en mémoire à long terme, traitement de l'ordre sériel, contrôle et focus attentionnels...). Des faiblesses en MT peuvent apparaître dès qu'un de ces processus ne fonctionne pas de manière optimale. Ainsi, des performances faibles à une tâche d'empan peuvent résulter de déficits cognitifs sous-jacents très variés et spécifiques. Il en résulte que la compréhension de la nature des déficits de la MT observés dans différents troubles des apprentissages nécessite une analyse approfondie des mécanismes sous-jacents du déficit de la MT.

LES DÉFICITS DE LA MT DANS LA DYSLEXIE

La dyslexie développementale chez l'enfant est très fréquemment associée à des déficits de la MT verbale (Avons & Hanna, 1995 ; Brady, Shankweiler & Mann, 1983 ; Snowling, Goulandris & Defty, 1996). Ces déficits sont persistants dans la mesure où ils sont encore observables chez la personne dyslexique une fois devenue adulte, et ceci même si les capacités de lecture se sont normalisées (Snowling *et al.*, 1996). Cependant, l'origine de ces déficits reste plus difficile à expliquer, et pourrait, au moins en partie, résulter des troubles phonologiques qui sont un autre facteur associé de la dyslexie. En effet, de nombreuses études ont montré que des difficultés au niveau de l'analyse perceptuelle et phonologique des sons du langage (phonèmes) sont la caractéristique la plus robuste de la dyslexie développementale (à côté du déficit de lecture) (Ramus *et al.*, 2003 ; Ramus, Marshall, Rosen & van der Lely, 2013 ; Serniclaes *et al.*, 2004 ; Szenkovits & Ramus, 2005). À la lumière des considérations théoriques développées ci-dessus, il est important de positionner les déficits de la MT verbale dans le contexte de ces difficultés phonologiques. En effet, étant donné que les aspects « items » de la MT verbale dépendent de l'accès aux représentations phonologiques et phonémiques du système langagier, des déficits de la MT « item » verbale pourraient être attendus et ils seraient la conséquence directe des troubles phonologiques réceptifs associés à la dyslexie. Si tel est le cas, le maintien de l'ordre sériel en MT pourrait être relativement préservé.

Des études ont récemment exploré cette question, en contrastant les capacités de MT pour le maintien de l'information « item » phonologique et de l'ordre sériel, à la fois chez des enfants et des adultes présentant (ou ayant présenté) des troubles dyslexiques. Plusieurs études ont contrasté des tâches de type répétition différée de non-mots et des tâches de reconstruction de l'ordre sériel (telles que décrites plus haut) et ont montré des déficits non seulement pour la rétention de l'information « item » phonologique mais également pour la rétention de l'information « ordre sériel » (Cowan *et al.*, 2017 ; Martinez Perez, Majerus, Mahot & Poncellet, 2012 ; Martinez Perez, Majerus & Poncellet, 2013 ; Romani, Tsouknida & Olson, 2014 ; Szmalec, Loncke, Page & Duyck, 2011). Même si le degré d'indépendance entre les déficits « item » et « ordre sériel » fait encore débat (voir Staels & Van den Broeck, 2014), l'ensemble des études semblent démontrer des déficits généralement robustes au niveau de la MT pour l'ordre sériel (Majerus & Cowan, 2016). De manière intéressante, les déficits impliquant le maintien de l'ordre sériel en MT ne se limitent pas à la modalité auditivo-verbale, car ils sont également observés pour du matériel visuo-spatial (Cowan *et al.*, 2017 ; Martinez Perez, Poncellet, Salmon & Majerus, 2015 ; Hachmann *et al.*, 2014). Par contre, le maintien de l'information « item » visuo-spatiale semble préservée selon ces différentes études. Le fait que les déficits au niveau du maintien de l'ordre sériel concernent également la modalité visuo-spatiale indique que ces déficits

ne découlent pas simplement de troubles phonologiques sous-jacents. En résumé, les déficits de la MT observés dans la dyslexie concernent à la fois les aspects « item » et « ordre sériel ». Ces résultats sont importants pour la prise en charge de l'enfant dyslexique, car les faiblesses au niveau du maintien de l'ordre sériel des informations risquent de rendre plus difficiles les capacités d'apprentissage non seulement au niveau de la lecture, mais également au niveau lexical et numérique. Comme nous l'avons décrit plus haut, les capacités de la MT pour l'ordre sériel sont un prédicteur important des capacités d'apprentissage dans tout domaine qui implique le traitement et l'acquisition d'informations séquentielles.

LES DÉFICITS DE LA MT DANS LA DYSCALCULIE

Tout comme la dyslexie, la dyscalculie développementale est également associée à des troubles de la MT. Les déficits mis en évidence de la manière la plus fréquente concernent les tâches de MT impliquant à la fois du stockage et du traitement, et recrutant donc de manière maximale les processus de contrôle attentionnel et exécutif (Bull & Johnson, 1997 ; De Smedt *et al.*, 2009 ; Gathercole & Pickering, 2000 ; Noël, 2009). Des troubles au niveau du stockage d'informations visuo-spatiales ont également été observés, même si de manière un peu moins consistante (Holmes, Adams & Hamilton, 2008 ; Raghobar, Barnes & Hecht, 2010). La plus grande controverse concerne les capacités de stockage d'informations verbales dans la dyscalculie, les performances dans des tâches d'empan verbaux étant parfois altérées, et parfois non (De Smedt *et al.*, 2009 ; Holmes & Adams, 2006 ; Noël, Seron & Trovarelli, 2004).

Des études récentes ont tenté de mieux comprendre la nature des déficits de la MT verbale dans la dyscalculie, en dissociant les aspects « item » et « ordre sériel » décrits plus haut. Dans la mesure où les enfants dyscalculiques ne présentent pas de déficits au niveau langagier (en tout cas, en cas de diagnostic de dyscalculie pure), un déficit pour le maintien des informations verbales « item » n'est pas attendu. Par contre, un déficit au niveau du maintien de l'ordre sériel des informations pourrait éventuellement être prédit, étant donné que plusieurs études et théories récentes font un rapprochement entre le caractère ordinal des codes utilisés pour représenter l'ordre des mots au sein d'une liste et les aspects ordinaux du traitement numérique (Abrahamse, van Dijck, Majerus & Fias, 2014 ; Botvinick & Watanabe, 2007 ; Majerus & Attout, 2017 ; van Dijck, Abrahamse, Majerus & Fias, 2013).

Plusieurs études ont dissocié les aspects « item » et « ordre sériel », en utilisant le même type de tâches de MT verbale que celles utilisées auprès des populations dyslexiques décrites ci-dessus (Attout & Majerus, 2015 ; Attout, Salmon & Majerus, 2015). Conformément aux prédictions, ces études ont montré des déficits spécifiques au niveau du maintien de l'ordre sériel en MT verbale, alors que le maintien de l'information « item » verbale était préservé.

Par contre, l'origine du déficit pour le maintien de l'ordre sériel pose actuellement beaucoup de questions. Une étude en neuroimagerie fonctionnelle auprès de jeunes adultes avec dyscalculie développementale a montré une moindre activation du cortex dorsolatéral préfrontal droit, et ceci à la fois pour des tâches de maintien de l'ordre sériel et des tâches de jugement de l'ordre alphabétique (Attout *et al.*, 2015). Ces déficits pourraient refléter une difficulté plus générale à comparer de manière contrôlée des informations ordinales plutôt qu'un défaut de base du stockage de l'ordre sériel en MT.

CONCLUSIONS

La MT est une fonction cognitive complexe, résultant de l'interaction avec d'autres systèmes cognitifs tels que le système langagier (ou d'autres bases de connaissance en mémoire à long terme), le système attentionnel et des mécanismes plus spécifiques permettant la représentation de l'ordre sériel des informations à mémoriser. Le degré d'implication de ces différentes composantes dépend de la nature de la tâche de MT utilisée, certaines tâches dépendant de manière importante de l'influence des connaissances langagières, d'autres tâches dépendant davantage des traitements sériels et/ou attentionnels. Afin de mieux comprendre la nature des déficits de la MT dans les troubles des apprentissages, il est primordial qu'une évaluation précise et théoriquement informée soit réalisée, afin que les aspects de la MT qui posent problème puissent être identifiés et interprétés de manière valide et utile. Une évaluation approfondie de la MT est également capitale afin de permettre la mise en place de stratégies de prise en charge de manière optimale (pour une revue en français, voir Majerus, 2016). Des outils d'évaluation de la MT permettant d'approfondir les aspects « item » et « ordre sériel » sont disponibles sur http://www.psycog.uliege.be/cms/c_3777644/fr/tests-mis-a-disposition. Finalement, il est très important de souligner l'hétérogénéité qui existe à l'intérieur et entre différents troubles des apprentissages. Par conséquent, les enfants avec troubles des apprentissages peuvent présenter des troubles de la MT de nature diverse et multiple, nécessitant une évaluation la plus complète possible de leurs capacités de MT.

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

- ABRAHAMSE, E., VAN DIJCK, J. P., MAJERUS, S. & FIAS, W. (2014). Finding the answer in space: the mental whiteboard hypothesis on serial order in working memory. *Frontiers in Human Neurosciences*, 8, 932. doi:10.3389/fnhum.2014.00932
- ACHESON, D.J. & MACDONALD, M.C. (2009). Verbal Working Memory and Language Production: Common Approaches to the Serial Ordering of Verbal Information. *Psychological Bulletin*, 135, 50-68.
- ATTOUT, L. & MAJERUS, S. (2015). Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology*, 21, 432-450.
- ATTOUT, 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.
- ATTOUT, L., SALMON, E. & MAJERUS, S. (2015). Working Memory for Serial Order Is Dysfunctional in Adults With a History of Developmental Dyscalculia: Evidence From Behavioral and Neuroimaging Data. *Developmental Neuropsychology*, 40, 230-247.
- 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.
- BOTVINICK, M. & WATANABE, T. (2007). From numerosity to ordinal rank: a gain-field model of serial order representation in cortical working memory. *Journal of Neuroscience*, 27, 8636-8642.
- 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.
- BULL, R. & JOHNSTON, R.S. (1997). Children's arithmetical difficulties: contributions from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65, 1-24.
- BURGESS, N. & HITCH, G.J. (1999). Memory for serial order: A network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, 106, 551-581.
- CORBETTA, M. & SHULMAN, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
- COWAN, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York: Oxford University Press.
- COWAN, N., ELLIOTT, E.M., SAULTS, J. S., MOREY, C.C., MATTOX, S., HISMJATULLINA, A. & CONWAY, A.R.A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51, 42-100.
- COWAN, N., HOGAN, T.P., ALT, M., GREEN, S., CABBAGE, K.L., BRINKLEY, S. & GRAY, S. (2017). Short-term Memory in Childhood Dyslexia: Deficient Serial Order in Multiple Modalities. *Dyslexia*, 23, 209-233.
- DE SMEDT, B., JANSSEN, R., BOUWENS, K., VERSCHAFFEL, L., BOETS, B. & GHESQUIERE, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 186-201.
- DUNCAN, J., SCHRAMM, M., THOMPSON, R. & DUMONTEIL, I. (2012). Task rules, working memory, and fluid intelligence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 864-870.
- FIEBACH, C.J., FRIEDERICI, A.D., SMITH, E.E. & SWINNEY, D. (2007). Lateral Inferotemporal Cortex Maintains Conceptual-Semantic Representations in Verbal Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 2035-2049.
- FUNG, W. & SWANSON, H.L. (2017). Working memory components that predict word problem solving: Is it merely a function of reading, calculation, and fluid intelligence? *Memory and Cognition*, 45, 804-823.
- GAO, Z., GAO, Q., TANG, N., SHUI, R. & SHEN, M. (2016). Organization principles in visual working memory: Evidence from sequential stimulus display. *Cognition*, 146, 277-288.
- GATHERCOLE, S.E., FRANKISH, C.R., PICKERING, S.J. & PEAKER, S. (1999). Phonotactic influences on short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 25, 84-95.
- GATHERCOLE, S.E. & PICKERING, S.J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70, 177-194.
- GATHERCOLE, S.E., WILLIS, C.S., EMSLIE, H. & BADDELEY, A.D. (1992). Phonological memory and vocabulary development during the early school years: A longitudinal study. *Developmental Psychology*, 28, 887-898.

- HACHMANN, W.M., BOGAERTS, L., ZMALEC, A., WOUMANS, E., DUYCK, W. & JOB, R. (2014). Short-term memory for order but not for item information is impaired in developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 64, 121-136.
- HOLMES, J., ADAMS, J. M. & HAMILTON, C. (2008). The relationship between visuospatial sketchpad capacity and children's mathematical skills. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20, 272-289.
- HOLMES, J. & ADAMS, J.W. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, 26, 339-366.
- HOLMES, J., GATHERCOLE, S. E. & DUNNING, D.L. (2010). Poor working memory: impact and interventions. *Advances in Child Development and Behaviour*, 39, 1-43.
- HULME, C., MAUGHAN, S. & BROWN, G.D. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: Evidence for a long-term memory contribution to short-term memory span. *Journal of Memory and Language*, 30, 685-701.
- JAROSLAWSKA, A.J., GATHERCOLE, S.E., LOGIE, M.R. & HOLMES, J. (2016). Following instructions in a virtual school: Does working memory play a role? *Memory and Cognition*, 44, 580-589.
- KAISER, D., STEIN, T. & PEELEN, M.V. (2015). Real-world spatial regularities affect visual working memory for objects. *Psychonomic Bulletin and Review*, 22, 1784-1790.
- KALM, K. & NORRIS, D. (2014). The representation of order information in auditory-verbal short-term memory. *The Journal of Neuroscience*, 34, 6879-6886.
- LECLERCQ, A.L. & MAJERUS, S. (2010). Serial Order Short-Term Memory Predicts Vocabulary Development: Evidence from a Longitudinal Study. *Developmental Psychology*, 46, 417-427.
- 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. (2016). Optimisation et rééducation de la mémoire de travail: une synthèse critique. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 141, 167-174.
- MAJERUS, S. & ATTOUT, L. (2017). Working Memory for Serial Order and Numerical Cognition: What Kind of Association? In A. Henik & W. Fias (Eds.), *Heterogeneity of function in numerical cognition* (in press). Elsevier.
- 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.
- MAJERUS, S., ATTOUT, L., D'ARGEMBEAU, A., DEGUELDRE, C., FIAS, W., MAQUET, P. & BALTEAU, E. (2012). Attention Supports Verbal Short-Term Memory via Competition between Dorsal and Ventral Attention Networks. *Cerebral Cortex*, 22, 1086-1097.
- 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.
- MAJERUS, S. & COWAN, N. (2016). The Nature of Verbal Short-Term Impairment in Dyslexia: The Importance of Serial Order. *Frontiers in Psychology*, 7, 1522.
- MAJERUS, S., COWAN, N., PETERS, F., VAN CALSTER, L., PHILLIPS, C. & SCHROUFF, J. (2016). Cross-Modal Decoding of Neural Patterns Associated with Working Memory: Evidence for Attention-Based Accounts of Working Memory. *Cerebral Cortex*, 26, 166-179.
- MAJERUS, S., HEILIGENSTEIN, L., GAUTHEROT, N., PONCELET, M. & VAN DER LINDEN, M. (2009). The impact of auditory selective attention on verbal short-term memory and vocabulary development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 66-86.
- MAJERUS, S., MARTINEZ PEREZ, T. & OBERAUER, K. (2012). Two distinct origins of long-term learning effects in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 66, 38-51.
- 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., PÉTERS, F., BOUFFIER, M., COWAN, N. & PHILLIPS, C. (2017). The dorsal attention network reflects both encoding load and top-down control during working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, in press.
- 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 LINDEN, M. (2003). The development of long-term memory effects on verbal short-term memory: A replication study. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 303-310.
- MAJERUS, S., VAN DER LINDEN, M., MULDER, L., MEULEMANS, T. & PÉTERS, F. (2004). Verbal short-term memory reflects the sublexical organization of the phonological language network: Evidence from an incidental phonotactic learning paradigm. *Journal of Memory and Language*, 51, 297-306.
- MARTIN, N. & SAFFRAN, E.M. (1992). A computational account of deep dysphasia: Evidence from a single case study. *Brain and Language*, 43, 240-274.
- MARTINEZ PEREZ, T., MAJERUS, S. & PONCELET, M. (2013). Impaired short-term memory for order in adults with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 2211-2233.
- 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.
- MIYAKE, A., FRIEDMAN, N.P., EMERSON, M.J., WITZKI, A.H. & HOWERTER, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- NOEL, M.P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add: A preschool study. *Developmental Psychology*, 45, 1630-1643.
- NOEL, M.P., SERON, X. & TROVARELLI, F. (2004). Working memory as a predictor of addition skills and addition strategies in children. *Current Psychology of Cognition*, 22, 3-25.
- PAPAGNO, C., COMI, A., RIVA, M., BIZZI, A., VERNICE, M., CASAROTTI, A. & BELLO, L. (2017). Mapping the brain network of the phonological loop. *Hum Brain Mapp*, 38, 3011-3024.
- RAGHUBAR, K.P., BARNES, M.A. & HECHT, S.A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20, 110-122.
- 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.
- 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 (1), 99-128.
- SHIPSTEAD, Z., HARRISON, T.L. & ENGLE, R.W. (2015). Working memory capacity and the scope and control of attention. *Attention, Perception and Psychophysics*, 77, 1863-1880.
- SNOWLING, M., GOULANDRIS, N. & DEFTY, N. (1996). A longitudinal study of reading development in dyslexic children. *Journal of Educational Psychology*, 88, 653-669.
- STAELS, E. & VAN DEN BROECK, W. (2014). Order short-term memory is not impaired in dyslexia and does not affect orthographic learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 732.

SZENKOVITS, G. & RAMUS, F. (2005). Exploring dyslexics' phonological deficit I: lexical vs sub-lexical and input vs output processes. *Dyslexia*, 11, 253-268.

SZMALEC, A., LONCKE, M., PAGE, M. & DUYCK, W. (2011). Order or disorder? Impaired Hebb learning in dyslexia. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, 1270-1279.

TODD, J.J., FOUGNIE, D. & MAROIS, R. (2005). Visual short-term memory load suppresses temporo-parietal junction activity and induces inattentive blindness. *Psychological Science*, 16, 965-972.

TODD, J.J. & MAROIS, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, 428, 751-754.

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.

WALKER, I. & HULME, C. (1999). Concrete words are easier to recall than abstract words: Evidence for a semantic contribution to short-term serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 1256-1271.