

La mémoire de travail dans la dyslexie : Dysfonctionnements et pistes de
remédiation

Working memory in dyslexia: Dysfunctions and avenues for cognitive
remediation

M. Rousselle & M. Abadie

Note des auteurs

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université Aix-Marseille, 3 place Victor Hugo, 13003
Marseille, France ; manon.rousselle-jacquier@univ-amu.fr. Toute correspondance concernant
cet article doit être adressée à M. Abadie, marlene.abadie@univ-amu.fr, Laboratoire de
Psychologie Cognitive, Université Aix-Marseille.

Remerciements : Nous remercions Leonardo Pinto Arata pour la traduction du résumé en
Espagnol.

Résumé

Les déficits de la mémoire de travail sont fréquemment associés à la dyslexie. Nous réexaminons ces troubles à l'aide d'un modèle récent qui distingue deux mécanismes de maintien en mémoire de travail, la répétition articulatoire et le rafraichissement attentionnel. Les études passées en revue montrent un déficit attentionnel mais pas de la répétition articulatoire. Nous présentons des pistes de remédiation tout en soulignant le manque d'études ayant évalué leur efficacité dans la dyslexie.

Mots clés : Dyslexie ; Mémoire de travail ; Rafrachissement attentionnel ; Répétition articulatoire ; Remédiation cognitive

Abstract

Working memory deficits are frequently associated with dyslexia. We re-examine these disorders using a recent model that distinguishes between two working memory maintenance mechanisms, articulatory rehearsal and attentional refreshing. The studies reviewed show an attentional deficit but not a deficit of articulatory rehearsal. We present some avenues for remediation while pointing out the lack of studies that have evaluated their effectiveness in dyslexia.

Keywords: Dyslexia; Working memory; Attentional refreshing; Articulatory rehearsal; cognitive remediation

Resumen

Los déficits en la memoria de trabajo se asocian frecuentemente con la dislexia. Reexaminamos estos trastornos utilizando un modelo reciente que distingue dos mecanismos de mantenimiento

en la memoria de trabajo, el ensayo articulatorio y el refrescamiento atencional. Los estudios examinados muestran un déficit de atención, pero no del ensayo articulatorio. Presentamos algunas ideas para la remediación y a la vez destacamos la falta de estudios que hayan evaluado su efectividad en la dislexia.

Palabras clave: Dislexia; Memoria de trabajo; Refrescamiento atencional; Ensayo articulatorio; Remediación cognitiva

La dyslexie est caractérisée par des difficultés importantes et persistantes pour acquérir le langage écrit, mais également par des déficits associés dont les troubles de la mémoire de travail (MdT) (Snowling, 2000). Ces déficits sont importants à prendre en compte parce que les capacités de MdT sont étroitement liées aux progrès réalisés dans de nombreux domaines scolaires comme la lecture, les mathématiques ou les sciences par exemple, et pourraient aggraver les difficultés d'apprentissage dans ces domaines (Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004).

La MdT est conçue comme une structure permettant à la fois le maintien et le traitement de l'information. Pour examiner les troubles de la MdT dans la dyslexie, de nombreuses études se basent sur le modèle standard proposé par Baddeley et Hitch (1974 ; Baddeley, 1986, 2010). Ce modèle propose une distinction entre différents sous-systèmes dédiés au stockage des informations et une entité décrite comme un superviseur attentionnel en charge de contrôler le fonctionnement de la MdT. Dans cette revue, nous réexaminons les troubles de la MdT dans la dyslexie à l'aide d'une nouvelle conception des relations entre la MdT et le contrôle attentionnel, celle proposée par le modèle de partage temporel des ressources ou en anglais *time-based resource sharing model* (TBRS) (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004 ; Barrouillet & Camos, 2015 ; Fitamen & Camos, in revision).

Le modèle de partage temporel des ressources

Le TBRS distingue deux mécanismes indépendants permettant le maintien de l'information en MdT, la répétition articulatoire et le rafraichissement attentionnel (Camos, 2015, 2017, Camos et al., 2018, pour une revue). La répétition articulatoire permet de maintenir des informations uniquement verbales pendant un laps de temps court en les répétant à haute voix ou dans sa

tête, comme lorsque nous maintenons un numéro téléphone pour le composer immédiatement. Ce mécanisme a été étudié depuis longtemps dans le modèle de la boucle phonologique de Baddeley (1986) et il a souvent été conçu comme la seule manière de maintenir de l'information verbale. Il est basé sur des processus de production du langage qui n'utilisent pas de ressources exécutives lorsqu'ils sont mis en œuvre.

La répétition articulatoire peut être utilisée pour maintenir des informations dans des tâches d'empan simple (e.g., tâche d'empan endroit) qui font uniquement appel à la capacité de stockage, ce sont des tâches dites de mémoire à court terme. Elle peut aussi être mobilisée dans des tâches d'empan complexe, tâches prototypiques pour l'étude de la MdT (e.g., empan d'opérations), qui ont également des demandes de traitement importantes en plus du stockage de l'information. En effet, dans ces dernières tâches, des informations doivent être maintenues pour un rappel ultérieur (tâche principale) pendant la résolution d'une tâche secondaire (Daneman & Carpenter, 1980).

Le rafraichissement attentionnel quant à lui, est notamment mis en œuvre dans les tâches d'empan complexe. Dans celles-ci, les traces mnésiques des items à retenir reçoivent de l'activation, mais, dès que l'attention est déplacée sur la tâche secondaire, cette activation décroît avec le temps (Barrouillet & Camos, 2009 ; Cowan, 1995, 1999). Ces traces doivent être activement maintenues pour ne pas disparaître. Le rafraichissement de ces traces s'opère par leur réactivation ou leur reconstruction qui a lieu pendant les courtes pauses qui surviennent entre les épisodes de traitement de la tâche secondaire, comme si l'on repensait par intermittence aux items à mémoriser. A l'inverse de la répétition articulatoire, ce mécanisme peut s'appliquer à des items aussi bien verbaux que visuospatiaux (Vergauwe, Barrouillet, Camos, 2009, 2010) et mobilise des ressources attentionnelles.

Ces deux mécanismes peuvent fonctionner simultanément pour maintenir l'information (Camos, Lagner & Barrouillet, 2009 ; Camos, Mora & Oberauer, 2011) mais ils ont des contraintes différentes. La répétition articulatoire peut être empêchée en demandant aux participants de produire une articulation concurrente. La production de cette articulation concurrente réduit les performances de rappel (Baddeley, 1986, 2010). Le rafraichissement attentionnel est contraint par la disponibilité des ressources attentionnelles et peut être empêché en introduisant une tâche concurrente qui distrait l'attention du maintien de l'information. Lorsque la charge cognitive de la tâche concurrente augmente, la performance de rappel diminue en fonction de la proportion de temps au cours duquel l'attention est distraite de l'activité de maintien (Barrouillet & Camos, 2012).

Quels sont les mécanismes de MdT affectés dans la dyslexie ? Les études ont montré des performances plus basses dans des tâches de MdT notamment verbales chez les enfants et adultes dyslexiques que les sujets contrôles (Gathercole et al., 2016 ; Swanson, Jerman, & Zheng, 2009), ce qui suggère, d'après le TBRS, une altération de l'un ou l'autre voire des deux mécanismes de maintien en MdT. Une personne dyslexique fonctionne-t-elle comme un sujet contrôle sous suppression articulatoire ou sous charge cognitive ? Peut-on trouver des pistes pour remédier à ces déficits ? Ce sont les questions auxquelles cette revue tente de répondre dans les parties suivantes.

Les troubles de la mémoire de travail dans la dyslexie

La plupart des études indiquent que les enfants et adultes dyslexiques ont des difficultés à la fois dans des tâches de mémoire à court terme ainsi que dans des tâches de MdT. Ces difficultés apparaissent principalement dans les tâches de MdT verbales en comparaison aux tâches de MdT visuo-spatiales (Cirino et al., 2015 ; Schunhardt, Maehler, Hasselhorn, 2008). Certaines études montrent toutefois que les sujets dyslexiques ont des performances inférieures à celles du groupe contrôle dans des tâches de MdT visuo-spatiales mais cette différence est moindre en comparaison à celle obtenue dans les tâches de MdT verbales (Gathercole et al., 2016 ; Peng et al., 2018 ; Swanson, Zheng, & Jerman, 2009). Ceci suggère que les atteintes de la MdT dans la dyslexie pourraient toucher à la fois des mécanismes spécifiquement verbaux comme la répétition articulatoire ainsi que des mécanismes généraux attentionnels permettant le maintien d'informations verbales et visuo-spatiales comme le rafraichissement attentionnel. Qu'indique la littérature à propos de chacun de ces facteurs ?

Altérations de la boucle phonologique ou de la mémoire phonologique à long terme

Un nombre restreint d'études s'est intéressé au rôle de la répétition articulatoire dans le maintien de l'information dans la dyslexie. Swanson et Ashbaker (2000) ont proposé que la vitesse de lecture de mots ralentie chez les enfants dyslexiques par rapport à celle des normo-lecteurs pourrait refléter une altération de la boucle phonologique. Toutefois, les résultats de leurs études ont révélé que les déficits des enfants dyslexiques dans des tâches de MdT persistent alors même que les différences de vitesse de lecture entre les deux groupes d'enfants sont contrôlées. De plus, les performances à des tâches de MdT prédisaient celles de reconnaissance de mots et de compréhension indépendamment de la vitesse articulatoire. En se basant sur le modèle de MdT proposé par Baddeley, les auteurs ont conclu que les faibles performances de reconnaissance de mots et de compréhension chez les enfants dyslexiques reflètent plutôt des

déficits au niveau du superviseur attentionnel que de la boucle phonologique. Les résultats de Swanson et Sachse-Lee (2001) supportent également cette idée.

Cohen et Netley (1981) ont investigué plus directement l'influence de la dyslexie sur la répétition articulatoire en empêchant les sujets d'utiliser ce mécanisme pour maintenir des informations phonologiques. Pour se faire, des listes de chiffres étaient présentées auditivement et très rapidement à des enfants dyslexiques et contrôles. Les enfants devaient rappeler les trois derniers chiffres de chaque liste dans l'ordre dans lequel ils les avaient entendus. Le nombre de chiffres par liste variait sans que les sujets soient prévenus de sorte qu'ils ne sachent pas à l'avance quels étaient les chiffres à retenir. Les résultats ont montré que les enfants dyslexiques avaient de moins bonnes performances que les contrôles. Ainsi, cette étude supporte l'hypothèse selon laquelle les déficits de MdT dans la dyslexie ne seraient pas liés à une altération de la boucle phonologique. Le pattern de résultats suggère plutôt des difficultés dans le stockage à long-terme des items auditifs sous la forme d'un pattern phonologique. Une étude plus récente (Beneventi, Tonnessen, & Ersland, 2009) a examiné l'activation neuronale associée au stockage phonologique en mémoire à long-terme et à la répétition articulatoire de l'ordre sériel en MdT chez des enfants dyslexiques et contrôles. Les mesures IRMf suggèrent que les enfants dyslexiques n'ont pas de déficit au niveau de la répétition articulatoire mais plutôt un déficit d'accès aux représentations phonologiques en mémoire à long-terme ainsi que du circuit exécutif.

Par ailleurs, d'autres études ont examiné l'impact de l'instruction de stratégies de répétition pour maintenir des informations dans des tâches de mémoire à court-terme chez des enfants dyslexiques. Les enfants dyslexiques semblent mobiliser la répétition comme des normo-lecteurs pour maintenir des items dans des tâches de mémoire à court-terme mais cette stratégie

pourrait ne pas leur être aussi bénéfique parce qu'ils ne s'en serviraient pas pour traiter les items en profondeur, c'est-à-dire faire des liens sémantiques entre eux (Swanson, 1983a, 1983b). Deux études conduites par Swanson, Kehler, et Jerman, (2010) ont montré que les enfants dyslexiques rapportent utiliser les mêmes stratégies de répétition que les normo-lecteurs dans des tâches d'empan simple lorsqu'on les leur instruit. De plus, lorsque les sujets sont entraînés durant 15 minutes à utiliser la répétition articulatoire, à la fois les performances des enfants dyslexiques et celles des contrôles augmentent. Ces résultats vont à nouveau dans le sens de l'hypothèse selon laquelle les enfants dyslexiques n'auraient pas d'altération de la répétition articulatoire.

Bien que les protocoles des différentes études soient hétérogènes, toutes vont dans le sens d'une absence de déficit de la répétition articulatoire dans la dyslexie. Elles semblent plutôt indiquer que la dyslexie est associée à une altération des représentations phonologiques en mémoire à long terme et/ou à un déficit d'ordre attentionnel. D'autres travaux ont également montré que les difficultés de décodage phonologique dans la dyslexie (Norton, Beach, & Gabrieli, 2014 ; Ziegler & Goswami, 2006) semblent résulter d'un déficit d'accès ou d'organisation des représentations phonologiques à long terme (Farquharson et al., 2014 ; Ramus et al., 2003 ; Ramus & Szenkovits, 2008 ; Snowling, 1981). Ce déficit pourrait donc également rendre compte des performances inférieures à la norme dans des tâches de MdT (Beneventi, Tonnessen, & Ersland, 2009 ; Martinez Perez, Majerus, & Poncelet, 2013 ; Knoop-van Campen, Segers, & Verhoeven, 2018).

Altérations du contrôle attentionnel

Les problèmes de la MdT dans la dyslexie ne sont pas uniquement la conséquence de troubles phonologiques sous-jacents parce que des déficits indépendants des connaissances langagières

sont également observés (Majerus & Poncelet, 2017). Majerus et Cowan (2016) ont réalisé une synthèse des études menées chez des enfants et adultes dyslexiques qui ont contrasté le maintien des informations à retenir et de leurs caractéristiques phonologiques et sémantiques (aspect « item ») au maintien de l'ordre sériel dans lequel les informations ont été présentées (aspect « ordre sériel »). En effet, c'est surtout le maintien de l'aspect « item » qui est sensible aux connaissances langagières tandis que le maintien de l'ordre sériel dans lequel les informations sont présentées dépend de processus distincts. Cette synthèse a montré la présence de difficultés pour le maintien des aspects « item » et « ordre sériel » (voir aussi Majerus et Poncelet, en révision, pour un synthèse dans les syndromes neurogénétiques). Toutefois, le déficit pour le maintien de l'ordre sériel a été observé dans des tâches verbales et visuo-spatiales à la fois, ce qui écarte la possibilité que les difficultés en MdT chez les enfants et adultes dyslexiques soient uniquement la conséquence des troubles phonologiques et souligne la présence de troubles attentionnels potentiels (Hachmann et al., 2014 ; Romani, Tsouknida & Olson, 2015).

Ces difficultés attentionnelles ne sont pas circonscrites aux tâches de maintien de l'ordre sériel. Elles se retrouvent également dans les tâches d'empan complexe impliquant des demandes de traitement en plus du maintien de l'information (Gathercole et al., 2016 ; Peng et al., 2018 ; Swanson, Zheng & Jerman, 2009). Swanson, Zheng et Jerman (2009) ont conduit une méta-analyse des études comparant des enfants dyslexiques et contrôles sur des mesures de mémoire à court terme et de MdT. Ils ont mis en évidence que les enfants dyslexiques ont des performances plus basses que les normo-lecteurs à la fois dans des tâches de mémoire à court-terme (e.g., empan simple) et de MdT (e.g., empan complexe) et que ces différences persistent avec l'avancée en âge (entre 5 et 18 ans). De plus, les performances basses aux tâches de mémoire à court terme étaient associées aux difficultés de décodage phonologique tandis que les performances aux tâches de MdT prédisaient positivement la compréhension. Ces résultats

plaident en faveur d'un déficit de maintien phonologique à court-terme probablement lié à l'altération des représentations phonologiques à long terme, mais également d'un déficit au niveau du rafraîchissement attentionnel. Plus largement, ces résultats suggèrent un déficit au niveau des processus de contrôles attentionnels qui permettent d'alterner entre le traitement de certaines informations et la rétention d'autres informations et qui sont typiquement mis en œuvre dans des tâches d'empan complexe. Une méta-analyse plus récente d'études sur la relation entre lecture et MdT (Peng et al., 2018) a souligné l'aspect développemental de cette relation. Celle-ci a pu montrer que les connaissances en mémoire à long terme qui augmentent avec l'âge modulent le lien entre performances en MdT et lecture. En effet, les enfants ayant des difficultés en lecture avant 9 ans présentent également des difficultés dans des tâches de MdT verbales et visuo-spatiales. Au-delà de 9 ans, la corrélation entre MdT et lecture est bien plus forte avec des tâches de MdT verbales que visuo-spatiales. Ainsi, il semblerait qu'avant 9 ans, les ressources attentionnelles de la MdT soient davantage sollicitées dans des tâches de lecture qu'après 9 ans car alors la lecture s'automatise et les enfants peuvent davantage se reposer sur leurs connaissances à long terme. La corrélation persiste donc dans des tâches verbales étant donné que les enfants dyslexiques ont moins facilement recours aux connaissances phonologiques qui sont déficitaires en mémoire à long terme.

En résumé, il semble que les difficultés des enfants et adultes dyslexiques dans des tâches de MdT notamment verbales soient liées, d'une part, à une altération des représentations phonologiques en mémoire à long terme et d'autre part, à une atteinte des mécanismes généraux attentionnels de la MdT. Ces déficits sont importants à prendre en compte afin d'aider les personnes dyslexiques à progresser dans leurs apprentissages malgré leurs difficultés.

La remédiation de la mémoire de travail dans la dyslexie

Il existe à ce jour très peu d'études qui ont évalué l'efficacité de programmes de remédiation de la MdT dans la dyslexie. L'efficacité d'un programme de remédiation peut être évaluée sur deux niveaux. Le premier niveau correspond à l'amélioration de la fonction entraînée. Le second niveau renvoie à la généralisation de l'entraînement d'une fonction entraînée à des fonctions corrélées (e.g., la lecture pour un entraînement de la MdT, par exemple). Les principaux programmes d'entraînements de la MdT existants ne ciblent pas spécifiquement les altérations de la MdT liées à la dyslexie mais sont plutôt destinés à une population d'enfants ou adultes tout-venant (e.g., Hitchcock & Westwell, 2017 ; Sala & Gobet, 2017). Ces derniers ont néanmoins été testés chez des personnes avec des troubles des apprentissages, notamment chez des enfants et adultes dyslexiques. Comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, leur efficacité dans la dyslexie est controversée. D'autres programmes plus ciblés sur les altérations de la MdT liées à la dyslexie pourraient s'avérer plus efficaces sur les deux niveaux.

Efficacité des programmes d'entraînement de la mémoire de travail ne ciblant pas spécifiquement les altérations liées à la dyslexie

Alloway et al. (2013) ont créé un programme informatisé pour les enfants de 10-11 ans ayant des difficultés d'apprentissage, qui propose des tâches impliquant la mémorisation de parties de mots, des tâches de rotation mentale de lettres et des tâches faisant appel à la mémoire sérielle de solutions d'opérations arithmétiques. Ce programme montre une efficacité de premier niveau en post-test immédiat sur des tâches de MdT verbales et visuo-spatiales pour le groupe entraîné 4 fois par semaine pendant 8 semaines. Les bénéfices de l'entraînement ne se retrouvent pas en post-test 8 mois après. Cette étude suggère que la MdT ne doit cesser d'être entraînée pour être plus efficiente. Les résultats de Maehler, Joerns, et Schuchardt, (2019) sont moins encourageants. Ils ont utilisé le programme ANTON 8-1-0, composé de tâches de MdT verbales et visuo-spatiales. Dans cette étude, des enfants dyslexiques et contrôles de 8 et 9 ans ont été

entraînés au programme durant 6 semaines (18 sessions de 45 minutes au total). Les résultats du post-test immédiat et trois mois plus tard indiquent que ni les enfants dyslexiques ni les sujets contrôles ne montrent une amélioration dans les tâches pour lesquelles ils ont été entraînés. Leurs performances sont identiques à celles d'un groupe contrôle non-entraîné. De leur côté, Shiran et Breznitz (2011) ont entraîné des jeunes adultes dyslexiques avec des tâches de MdT verbales et visuo-spatiales issues du programme CogniFit (2008) à raison de 15 minutes par jours, 4 jours par semaine durant 6 semaines. La comparaison des performances pré- et post-tests aux tâches de MdT entraînées montre une efficacité de premier niveau chez les dyslexiques ainsi que chez les sujets contrôles. De plus, les performances en décodage et compréhension en lecture se sont également améliorées suite à ce programme d'entraînement chez tous les sujets. Il y aurait donc un transfert de l'entraînement en MdT aux tâches de lecture. Ce programme mériterait d'être adapté et testé chez les enfants.

Les résultats de ces trois études sont assez contrastés. De plus, dans les études où les performances à des tâches de MdT s'améliorent suite à l'entraînement, l'écart de performances entre enfants ou adultes dyslexiques et sujets contrôles lui ne diminue pas. On observe cependant une amélioration des performances des sujets dyslexiques, ce qui n'est pas négligeable. L'efficacité de ces entraînements semble être limitée dans le temps (i.e., deux tiers des études ne montrent pas de bénéfices à long terme). On peut malgré tout se demander si un programme d'entraînement dont la durée est de seulement quelques semaines peut produire de réels bénéfices à long terme alors même que la MdT, comme toute fonction difficilement automatisable, nécessiterait d'être entraînée en permanence. Un entraînement de la MdT avec ce type de programmes qui sont généralement composés de nombreux tests peut en outre s'avérer chronophage.

Efficacité des programmes d'entraînements ciblés sur les altérations spécifiques liées à la dyslexie

Une alternative serait de se concentrer sur les tâches pour lesquelles les enfants ou adultes dyslexiques ont des difficultés particulières afin de rendre l'entraînement plus court. Ce type d'entraînement s'intégrerait au programme de remédiation déjà pratiqué par les professionnels auprès des enfants dyslexiques et pourrait cibler les difficultés de contrôle attentionnel en MdT mais également d'autres fonctions cognitives déficitaires chez les dyslexiques, telles que les connaissances phonologiques. Un nombre très limité d'études ont évalué l'efficacité d'un tel entraînement.

Zoubrinetsky et al. (2019) ont entraîné des enfants dyslexiques à deux programmes consécutifs, issus de l'étude de Collet et al. (2012). Le premier programme « RaphDys » ciblait la discrimination et la catégorisation phonologique en mémoire à court terme. Le second programme MAEVA était composé de tâches d'empan visuo-attentionnel. Les deux méthodes étaient pratiquées séquentiellement durant 12 semaines, 5 jours par semaines, 15 minutes par jour pour chaque programme. L'ordre des programmes était contrebalancé parmi les sujets. Des mesures post-tests étaient conduites après chaque programme. Les résultats indiquent que les deux méthodes améliorent les compétences de premier niveau, à savoir la discrimination phonémique pour RaphDys et l'empan visuo-attentionnel pour MAEVA. Les performances en lecture sont également améliorées, plus particulièrement RaphDys améliore la lecture de pseudo-mots et MAEVA la lecture de mots irréguliers. Il semblerait donc qu'un programme entraînant à la fois la perception des phonèmes et le traitement visuo-attentionnel dans des tâches de MdT puisse contribuer à une remédiation efficace pour les enfants dyslexiques. Notons que la durée d'entraînement de ces deux programmes combinés correspondait au moins au double de la durée des programmes évoqués dans les autres études, ce qui pourrait en partie

expliquer le bénéfice observé. Ferraz et al. (2018) ont proposé un programme d'entraînement ciblant à la fois le maintien et de la manipulation d'informations phonologiques en MdT, la vitesse de lecture et l'écriture. Ce programme a été testé auprès d'enfants dyslexiques de 8 à 14 ans. L'entraînement s'étalait sur 25 sessions de 45 minutes à raison de 1 fois par semaine. Les résultats de cette étude montrent que les scores d'empan croissant de mots et non-mots du groupe entraîné en post-test sont supérieurs aux scores en pré-test. Ils montrent également une amélioration des performances au test de conscience phonémique, domaine dans lequel les dyslexiques ont des difficultés. Bien que ce programme n'ait pas été encore testé sur un grand nombre d'enfants, il semble prometteur.

Conclusions

Nous commençons à mieux comprendre les déficits de MdT dans la dyslexie mais nos connaissances concernant l'efficacité de la remédiation de la MdT sont relativement faibles. Un élément très important à prendre en compte est l'hétérogénéité des atteintes de la MdT dans la dyslexie. Les études que nous avons passé en revue suggèrent que la dyslexie se caractérise par un trouble des mécanismes généraux attentionnels de la MdT mais que les mécanismes spécifiquement verbaux de la MdT comme la boucle phonologique, sont relativement préservés. Les troubles phonologiques proviendraient plutôt d'une atteinte des représentations phonologiques en mémoire à long-terme. Toutefois, tous les enfants et adultes dyslexiques ne vont pas nécessairement avoir ce même profil de difficultés en MdT. Il semblerait que certains individus dyslexiques pourraient présenter le même profil de difficultés en MdT que celui qu'on retrouve dans les troubles de développement du langage alors que d'autres auraient un profil que l'on retrouve dans le développement neurotypique (Gray et al., 2019). Les difficultés rencontrées par certains peuvent être principalement phonologiques, attentionnelles ou les

deux. Ainsi, il est très important d'identifier les difficultés individuelles avant de proposer tout aménagement et remédiation.

Il serait intéressant que les futurs travaux sur la remédiation de la MdT auprès de l'enfant ou l'adulte dyslexique se centrent sur un entraînement spécifique des composantes déficitaires en tenant compte du profil individuel plutôt que de proposer un programme d'entraînement de la MdT exhaustif qui peut s'avérer fastidieux et peu efficace. Cet entraînement serait probablement plus efficace s'il ne se faisait pas de façon isolée en focalisant uniquement sur les fonctions cognitives atteintes mais qu'il faisait partie d'une prise en charge plus globale visant également à mobiliser des fonctions cognitives non atteintes et des outils venant compenser les déficits cognitifs. Par exemple, l'entraînement de la MdT pourrait avoir comme objectif d'apprendre à l'enfant à privilégier des stratégies de maintien de l'information pour lesquelles il n'a pas ou moins de difficulté comme la répétition, le « chunking » qui consiste à rassembler plusieurs informations en une seule entité qui fait sens ou encore l'élaboration sémantique qui consiste par exemple, à faire des liens entre un mot présenté et un épisode de son vécu (e.g., Swanson, Kehler, & Jerman, 2010). Le matériel et les consignes du protocole d'entraînement doivent également être pensés pour ne pas mettre l'enfant en difficulté (e.g., consignes courtes et en étapes pour limiter la surcharge attentionnelle de la MdT). Finalement, l'objectif principal de la remédiation est que l'enfant ou l'adulte dyslexique puisse transposer ce qu'il y apprend à des situations de la vie de tous les jours dans lesquelles il est en difficulté. C'est le cas de l'école. L'avancement dans le domaine de la rééducation de la MdT pourrait bénéficier de collaborations actives entre chercheur.e.s, clinicien.e.s, et professeur.e.s des écoles de sorte à ce que le programme de remédiation suivi par l'enfant puisse être transposé à des activités similaires utilisées dans le cadre scolaire.

Références

- 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.
- Baddeley, A.D. *Working Memory*; Oxford University Press: Oxford, UK, 1986.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, *20*(4), 136–140.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 647–667). New York: Academic Press.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 83–100.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2009). Interference: unique source of forgetting in working memory. *Trends In Cognitive Sciences*, *13*, 145–146.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As Time Goes By: Temporal Constraints in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, *21*, 413–419.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working memory: Loss and reconstruction*. Hove, U.K.: Psychology Press.
- Beneventi, H., Tonnessen, F. E., and Ersland, L. (2009). Dyslexic children show short-term memory deficits in phonological storage and serial rehearsal: an fMRI study. *Int. J. Neurosci.* *119*, 2017–2043.
- Camos, V. (2015). Storing Verbal Information in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, *24*, 440–445.

- Camos, V. (2017). Domain-Specific Versus Domain- General Maintenance in Working Memory : Reconciliation Within the Time-Based Resource Sharing Model. *Psychology of Learning and Motivation*, 67, 135–171.
- Camos, V., Johnson, M., Loaiza, V., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (2018). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424, 19–32.
- Camos, V., Lagner, P., & Barrouillet, P., (2009). Two maintenance mechanisms of verbal information in working Memory. *Journal of Memory and Language*, 61, 457-469.
- Camos, V., Mora, G., & Oberauer, O. (2011). Adaptive choice between articulatory rehearsal and attentional refreshing in verbal working memory. *Memory & Cognition*, 39, 231–244.
- Cirino, P. T., Fuchs, L. S., Elias, J. T., Powell, S. R., & Schumacher, R. F. (2015). Cognitive and Mathematical Profiles for Different Forms of Learning Difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 48(2), 156–175.
- Cohen, R. L., & Netley, C. (1981). Short-term memory deficits in reading disabled children, in the absence of opportunity for rehearsal strategies. *Intelligence*, 5(1), 69–76.
- Collet, G., Colin, C., Serniclaes, W., Hoonhorst, I., Markessis, E., Deltenre, P., et al. (2012). Effect of phonological training in French children with SLI: perspectives on voicing identification, discrimination and categorical perception. *Res. Dev. Disabil.* 33, 1805–1818.
- CogniFit, L. T. D. (2008). CogniFit Personal Coach (CPC) training program and database. *Israel: Yokneam*.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York: Oxford University Press.

- Cowan, N (1999). An embedded-process model of working memory. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*, 450–466.
- Farquharson, K., Centanni, T.M., Franzluebbbers, C.E., & Hogan, T.P. (2014). Phonological and lexical influences on phonological awareness in children with specific language impairment and dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *5*, 838.
- Ferraz, E., Gonçalves, T. D. S., Freire, T., Mattar, T. D. L. F., Lamônica, D. A. C., Maximino, L. P., & Crenitte, P. A. P. (2018). Effects of a phonological reading and writing remediation program in students with dyslexia: Intervention for specific learning disabilities. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, *70*(2), 59–73.
- Fitamen, C., & Camos, V. (en révision). La mémoire de travail dans le développement typique. *A.N.A.E.*
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, *18*, 1-16.
- Gathercole, S. E., Woolgar, F., Kievit, R. A., Astle, D., Manly, T., & Holmes, J. (2016). How Common are WM Deficits in Children with Difficulties in Reading and Mathematics? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *5*(4), 384–394.
- Gray, S., Fox, A. B., Green, S., Alt, M., Hogan, T.P., Petscher, Y., Cowan, N. (2019). Working memory profiles of children with dyslexia, developmental language disorder, or both. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, *62*, 1839-1858.

- 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.
- 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 and Allied Disciplines*, *58*(2), 140–150.
- Knoop-van Campen, C. A. N., Segers, E., & Verhoeven, L. (2018). How phonological awareness mediates the relation between working memory and word reading efficiency in children with dyslexia. *Dyslexia*, *24*(2), 156–169.
- Maehler, C., Joerns, C., & Schuchardt, K. (2019). Training Working Memory of Children with and without Dyslexia. *Children*, *6*(3), 47.
- 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., & Poncelet, M. (2017). Dyslexie et déficits de la mémoire à court terme/de travail : implications pour la remédiation. *A.N.A.E*, *148*, 001-008.
- Majerus, S., & Poncelet, M. (en révision). La nature des troubles de la mémoire de travail dans les syndromes neurogénétiques : Syndrome de Down, microdélétion 22q11.2 et syndrome X-Fragile. *A.N.A.E*.
- Martinez Perez, T., Majerus, S., & Poncelet, M. (2013). Impaired short-term memory for order in adults with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, *34*, 2211-2223.
- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. D. E. (2014). Neurobiology of dyslexia. *Current Opinion in Neurobiology*, *30*, 73–78.

- Peng, P., Barnes, M., Wang, C. C., Wang, W., Li, S., Swanson, H. L., Dardick, W., & Tao, S. (2018). Meta-analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological Bulletin, 144*(1), 48–76
- 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.
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*, 129–141.
- 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.
- Sala, G., & Gobet, F. (2017). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science, 26*(6), 515–520.
- Schuchardt, K., Maehler, C., & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities, 41*, 514–523.
- Shiran, A., & Breznitz, Z. (2011). The effect of cognitive training on recall range and speed of information processing in the working memory of dyslexic and skilled readers. *Journal of Neurolinguistics, 24*(5), 524–537.
- Snowling, M. (2000). *Dyslexia*, 2nd Edn. Oxford: Blackwell Publishing.
- Snowling, M. (1981). Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research, 43*, 219–234.

- Swanson, H. L. (1983a). Relations among metamemory, rehearsal activity and word recall of learning disabled and non-disabled readers. *The British Journal of Educational Psychology*, 53 (Pt 2), 186–194.
- Swanson, L. (1983b). A study of nonstrategic linguistic coding on visual recall of learning disabled readers. *Journal of Learning Disabilities*, 16(4), 209–216.
- Swanson, H. L., & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: Does the executive system have a role? *Intelligence*, 28(1), 1–30.
- Swanson, H. L., Jerman, O., & Xinhua Zheng. (2009). Math Disabilities and Reading Disabilities. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 175–196.
- 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(1), 24–47.
- Swanson, H. L., & Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical problem solving and working memory in children with learning difficulties: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Learning Disabilities*, 79, 294–321.
- 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, 260–287.
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2009). Visual and spatial working memory are not that dissociated after all: a time-based resource-sharing account. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 35, 1012–1028.

- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Verbal and visuo-spatial working memory: a case for domain-general time- based resource sharing. *Psychological Science, 21*, 384–390
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2006). Becoming literate in different languages: Similar problems, different solutions. *Developmental Science, 9*, 429–436.
- Zoubinetzky, R., Collet, G. M., Nguyen Morel, M. A., Valdois, S., & Serniclaes, W. (2019). Remediation of allophonic perception and visual attention span in developmental dyslexia: a joint essay. *Frontiers in Psychology, 10*, 1502.