

Mémoire de travail et dyslexie : compréhension du déficit et remédiations envisageables

Florence Saunier

Master en Difficultés d'Apprentissage et Réhabilitation Logopédique

Sous la direction de Madame Naoual Douelfikar

SAERA (School of Advanced Research and Accreditation)

Juillet 2025

Résumé

L'apprentissage de la lecture requiert l'acquisition de multiples éléments liés à l'expérience, aux capacités et au fonctionnement neurologique d'un individu. À ceci s'ajoute la sollicitation de compétences diverses telles les compétences langagières et mnésiques, ainsi que les compétences attentionnelles et exécutives. La dyslexie, trouble de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, est associée de manière variable à des déficits potentiels de mémoire de travail. Les modèles existants de la mémoire de travail incluent une interaction avec la mémoire à long terme pour le stockage temporaire des informations, des mécanismes de stockage de l'ordre de l'apparition des informations et des mécanismes attentionnels. De ce fait, les déficits de mémoire de travail sont non seulement phonologiques mais aussi liés aux informations à retenir, à l'ordre dans lequel ces informations sont présentées et au contrôle attentionnel impliqué. Cette thèse se veut d'étudier et analyser les déficits de mémoire de travail associés à la dyslexie dans le but d'identifier des remédiations envisageables et leur efficacité potentielle chez les personnes dyslexiques.

***Mots-clés :** dyslexie, mémoire de travail, déficits, remédiation, ordre de l'item, ordre sériel.*

Table des matières

Introduction	5
Méthodologie.....	6
1. La dyslexie.....	6
<i>1.1 Définition et compréhension du déficit</i>	<i>6</i>
<i>1.2 Le fonctionnement de la lecture.....</i>	<i>7</i>
1.2.1 Le circuit neuronal de la lecture.....	7
1.2.2 Les compétences requises dans la lecture	8
<i>1.3 Étiologies de la dyslexie</i>	<i>9</i>
<i>1.4 Le facteur environnemental.....</i>	<i>11</i>
<i>1.5 Les différentes classifications de dyslexie</i>	<i>11</i>
2. La mémoire de travail (MT)	12
<i>2.1 La MT au sein du système mnésique</i>	<i>13</i>
2.1.1. Le modèle de la MT de Baddeley	13
2.1.2 Le modèle de Cowan et les représentations langagières de Majerus	15
3. Les déficits en MT dans la dyslexie	17
<i>3.1 Troubles phonologiques et déficits en MT</i>	<i>17</i>
<i>3.2 L'impact de l'ordre sériel dans les déficits de MT.....</i>	<i>19</i>
<i>3.3 le rôle du contrôle attentionnel dans la MT.....</i>	<i>19</i>
4. Évaluation et remédiation de la MT.....	21
4.1. L'évaluation et la remédiation de l'ordre "item".....	21
4.2 L'évaluation et La remédiation de l'ordre sériel	22
4.3 L'évaluation et la remédiation du contrôle attentionnel	23
4.4 Quelles remédiations de la MT envisageables chez les sujets dyslexiques ?	24
4.4.1. Récentes études sur la remédiation possible de la MT	24
4.4.2 Exemples de programmes informatisés de remédiation d'entrainement sur la MT applicable à la dyslexie : Cogmed et Magic Memory	26
5. Discussion	27
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31

Introduction

Le langage, faculté d'expression et de communication chez l'homme se développe chez l'enfant dès sa naissance. Il se base dans un premier temps sur le langage oral et devient par la suite le fondement du langage écrit. L'apprentissage de la lecture dépend de cette première phase de développement chez un enfant et cette période, de 0 à 6 ans, recouvre selon le modèle de Giasson (2012) cinq composantes qui soutiennent l'apprentissage formel de l'écriture et de la lecture : Le langage oral, la clarté cognitive, la connaissance des lettres, la conscience phonologique et le principe alphabétique.

L'apprentissage de la lecture est un processus évolutif complexe qui va demander à l'enfant de développer des compétences cognitives telle que la discrimination visuelle et la compréhension orale mais aussi l'acquisition de compétence de décodage. Lorsque cet apprentissage est altéré, on parle alors de trouble. Le trouble spécifique l'apprentissage de la lecture, appelé dyslexie, est défini comme un trouble neurodéveloppemental avec une

altération de la lecture et de la production écrite par les classification internationales (DSM 5 - American Psychiatric Association et CIM 11- Organisation Mondiale de la Santé). Ce dernier peut être présent en dépit d'une intelligence normale et de l'absence de pathologie neurologique, psychiatrique, de déficit sensoriel visuel et auditif ou de carence socio-éducative grave (DSM-5).

Dans le but d'une remédiation possible du trouble de dyslexie, une compréhension approfondie des mécanismes de la lecture s'avère nécessaire. Or, de nombreuses recherches ont démontré que les personnes atteintes de dyslexie pouvaient présenter des déficits liés à la mémoire de travail. En effet, celle-ci est impliquée dans chacune de ses étapes, lors du décodage, du traitement de l'information, de la compréhension et de la mémorisation. Ainsi nous nous attacherons à travers ce mémoire à mieux comprendre le fonctionnement de la mémoire de travail afin de déterminer les aspects qui

s'appliquent plus particulièrement à la dyslexie. Existe-t-il des remédiations aux déficits de mémoire de travail pour les

personnes dyslexiques ? Qu'en est-il aujourd'hui ? Nous tenterons de répondre à ces questions en explorant les récentes études et programmes mis en place.

Méthodologie

Cette étude sur la relation entre dyslexie et mémoire de travail est basée sur une approche structurée pour identifier, évaluer et synthétiser les recherches existantes sur le sujet. Elle s'est appuyée sur une recherche documentaire exhaustive comprenant des recherches empiriques, des méta-analyses, des études cliniques publiées ces 20 dernières années et a été effectuée à l'aide de bases de données universitaires telles que PubMed, Dumas, Cairn et Google Scholar. Les termes de recherche comprenaient les mots-clés "dyslexie", "mémoire de travail", "déficit de mémoire de travail", "remédiation", "ordre de l'item", "ordre sériel". Les critères d'inclusion de ces recherches reposaient sur la pertinence et les résultats scientifiques par rapport à la dyslexie développementale et les déficits de mémoire de travail chez les personnes dyslexiques. Les études comportementales neurocognitives portant sur des enfants et

des adolescents ou des adultes ont été prises en compte, excluant ainsi les études traitant uniquement de la mémoire de travail ou uniquement des troubles d'apprentissage de la lecture. L'objectif était d'identifier et analyser les résultats, les implications théoriques et les lacunes dans la compréhension des déficits de mémoire de travail dans la dyslexie afin de mettre en évidence les dernières tendances de remédiation et de signaler les domaines dans lesquels des recherches futures sont nécessaires.

1. La dyslexie

1.1 Définition et compréhension du déficit

La dyslexie, trouble spécifique du langage écrit, résulte d'une anomalie du texte écrit au sein du système cérébral qui se caractérise par des difficultés de reconnaissance visuelle précise et/ou fluide des mots et par de faibles capacités d'orthographe et de décodage. On distingue deux formes principales de dyslexie : la dyslexie acquise, par suite d'une lésion cérébrale ou un traumatisme et la dyslexie développementale qui regroupe l'ensemble des difficultés qui se

développe au cours du temps, lors de l'apprentissage de la lecture. La dyslexie développementale inclut des difficultés de lecture et non nécessairement de difficultés de compréhension, des difficultés à apprendre et à automatiser le décodage des mots écrits (Ziegler et al., 2020) qui serait fondé sur une altération du développement de la conversion grapho-phonétique. Elle se manifeste par une lecture peu fluide qui nécessite un effort cognitif supérieur comparé à des non-lecteurs.

Afin de mieux comprendre la dyslexie, nous allons présenter ce qu'est l'acte de lire, son fonctionnement et ses compétences appliquées mais aussi les origines de ce trouble.

1.2 Le fonctionnement de la lecture

1.2.1 Le circuit neuronal de la lecture.

La lecture est un mécanisme complexe dans lequel les différentes sphères de notre cerveau interviennent. L'hémisphère gauche servant pour la lecture et l'orthographe et l'hémisphère droit utilisé pour l'orientation, la coordination et les émotions. Selon

Dehaene et al. (2012) un circuit sous-tendu par la plasticité neuronale, fonctionne pour l'apprentissage de la lecture et se met en place par la vision plutôt que l'audition. Grâce à l'utilisation de l'IRM fonctionnelle, une activité dans la zone visuelle des mots dans la région du cortex occipito-temporal de l'hémisphère gauche a pu être observée.

Avant l'apprentissage de la lecture le cerveau de l'enfant a déjà acquis un stock de mots, ou plutôt le sens des mots qu'il a assimilé, comme une petite bibliothèque sémantique, lié au développement de la parole qui se situe dans l'hémisphère gauche. S'en suivra la reconnaissance des lettres qui sera distincte de l'objet et cette activité primaire se trouve elle dans le cortex visuel. Celle-ci, contrairement à la reconnaissance d'objet ne se situera que dans l'hémisphère gauche. Cette région occipito-temporale gauche va se construire et se modifier tout au long du développement dans l'apprentissage de la lecture. Elle se trouve également proche d'une région associée aux sons et phonèmes qui recouvre la compréhension orale. L'apprentissage de la lecture est donc une stimulation simultanée de toutes ces zones de reconnaissance des sons et

de reconnaissance des lettres.

Ainsi, apprendre à lire implique les réseaux de reconnaissance visuelle dans un premier temps avec identification de chaîne de caractères (recyclage neuronal), puis s'ensuit une conversion des caractères en une représentation phonologique avec en parallèle un accès au lexique et au sens (mots et phrases). Or, cet assemblage qui dépend en partie de l'organisation de l'orthographe et de l'écriture présente parfois d'éventuels troubles cognitifs.

1.2.2 Les compétences requises dans la lecture.

a) Le modèle à deux voies : la voie d'adressage et la voie d'assemblage.

Ce modèle de référence de la lecture se veut d'expliquer les traitements cognitifs en jeu lors de l'identification de mots. Ce dernier, selon Coltheart et al. (2001) identifie deux voies qui interviennent lors de la lecture et de l'écriture : la voie d'adressage (lexicale ou directe) et la voie d'assemblage (phonologique ou indirecte).

La voie d'adressage est la capacité à automatiser la lecture à partir de la forme visuelle des mots. Cette voie permet de

retrouver le mot lu au sein du système sémantique et de retrouver sa forme phonologique dans le lexique phonologique du lecteur. La voie d'assemblage, quant à elle, permet l'analyse visuelle par une segmentation en unités (graphèmes). Chaque unité sera associée à une unité phonologique (correspondance graphème /phonème). Ces unités seront par la suite assemblées pour former la synthèse. Quand la voie d'assemblage est affectée, l'automatisation des conversions graphème/phonème est impactée et l'enfant rencontrera des difficultés à déchiffrer les mots nouveaux, en devant les deviner.

Lors de l'apprentissage de la lecture, la voie phonologique tient une place prépondérante puisque la plupart des mots rencontrés sont des mots nouveaux. Quand il commence à apprendre à lire, l'enfant utilise la procédure par médiation phonologique hormis pour les mots qu'il pourrait connaître par cœur. Ceci va lui permettre de constituer peu à peu un lexique orthographique. Les traitements effectués

par la voie phonologique enrichissent les connaissances lexicales : un mot lu à plusieurs reprises sera mémorisé et donc

plus vite reconnu. Les deux procédures, la procédure analytique et la procédure lexicale se développent donc en parallèle. Or le modèle à deux voies est un modèle qui donne un aperçu des traitements cognitifs lors de l'identification des mots mais il n'aborde pas l'ensemble des mécanismes mis en jeu lors de la lecture de phrases ou de textes.

b) Les capacités multiples requises dans la lecture. La lecture implique une coordination de traitements cognitifs de manière simultanée. Il faudra donc à l'enfant plusieurs habilités pour assurer son bon fonctionnement :

- Des habiletés visuo-spatiales avec des capacités visuelles et neuro-visuelles comme l'acuité visuelle, le contrôle oculo-moteur (balayage, poursuite oculaire...), l'attention ou discrimination visuelle et la fonction gnosique visuelle (reconnaissance des lettres, des groupes de lettres) et

des capacités praxio-motrices.

- Des habilités mnésiques avec la mémoire à court terme (MCT verbale ou visuelle), la

mémoire de travail (MT ou mémoire à court terme ayant une activité cognitive en simultanée) et la mémoire à long terme (MLT, conservation et stockage).

- Des habilités méta-linguistiques. On parlera de conscience phonologique mais aussi des connaissances syntaxiques, sémantiques et lexicales. Tout ceci demande de faire appel aux fonctions de catégorisation, de raisonnement, d'abstraction et de logique.

Ainsi, l'apprentissage de la lecture comme nous avons pu le découvrir, nécessite multiples activités et compétences. Nous allons maintenant tenter de comprendre les causes possibles de la dyslexie et ses origines.

1.3 Étiologies de la dyslexie

La dyslexie résulte de multiples

facteurs et ne peut donc être attribuée qu'à une cause unique. Nombreux sont les domaines scientifiques dans lesquels les recherches et les études s'investissent dans

l'identification des possibles origines de la dyslexie comme la neuropsychologie ou les sciences cognitives, grâce notamment aux avancées de l'imagerie cérébrale. Ces découvertes ont permis de présenter des dyslexies avec des approches et théories variées.

a) Approche génétique. Il a été largement démontré que la dyslexie est transmise à travers les familles. En effet, le risque de transmission est de 50% pour un enfant de parents

dyslexiques et d'environ 70% chez les jumeaux (Scerri & Schulte-Korne, 2010). Le caractère héréditaire est donc le plus reconnu et compris pour les personnes atteintes de dyslexie.

b) Approche cérébrale. Comme nous l'avons présenté précédemment la lecture requiert l'utilisation de différentes zones cérébrales. L'endommagement et l'altération du fonctionnement de ces dernières peuvent expliquer l'origine d'une

dyslexie. Par exemple, la présence d'agrégats neuronaux serait à l'origine d'une défaillance de transmission de l'information (Ramus 2008). Par ailleurs,

cette approche rejoint parfois la théorie génétique dans le sens où les gènes de la dyslexie peuvent entraîner des modifications.

c) Approche visuo-attentionnelle.

La correspondance graphème/phonème sur laquelle repose l'apprentissage de la lecture nécessite une bonne acuité visuelle nécessitant une vision et un contrôle visuel adéquat. Selon Seassau et Bucci (2013) cette lecture requiert ainsi une succession de saccades et de fixations oculaires, une fenêtre visuo-attentionnelle assez large et une attention pour permettre l'enchaînement visuel des lettres. Or, chez les personnes dyslexiques, on a constaté la présence de troubles oculomoteurs (67%). Selon Bucci Les difficultés se situeraient au niveau des saccades et des fixations diminuées et au niveau de la fenêtre visuo-attentionnelle réduite ; ce qui amènerait à un déchiffrement plus lent. De plus, selon Bertoni et al. (2019), l'espace entre les lettres aurait également un impact bénéfique sur la lecture et éviterait l'effet de chevauchement des lettres

("crowding"). Enfin, un déficit phonologique entraînant l'altération de la perception des lettres écrites a également suggéré à travers la théorie visuelle de

Stein et Walsh (1997).

d) Approche cognitive. Celle-ci se base sur la cognition chez l'être humain, c'est à dire les différentes fonctions mentales que sont la mémoire, l'attention, le langage notamment, qui sont la base du développement du savoir et des apprentissages. On a pu observer un déficit phonologique chez les personnes dyslexiques rencontrant des difficultés d'identification, de manipulation et de formation de segments minimes que sont les phonèmes. (Ramus 2006). Selon Wokuri et Marec-Breton (2018) cette théorie nous renvoie ainsi à une atteinte du système phonologique et ceci à deux niveaux. Tout d'abord au niveau des représentations phonologiques avec une difficulté d'identification des phonèmes et de différenciation de présence de segment d'un mot. Ceci peut être notamment évalué par des épreuves de discriminations ou de répétition de mots ou non-mots. Et d'autre part au niveau de l'accès aux représentations phonologiques rendu

possible par la conscience phonologique, la mémoire verbale à court terme et la rapidité d'accès au lexique. Celui-ci engendre des difficultés de manipulation et

de production de phonèmes et peut être évalué à travers des tâches de dénomination rapide, d'empan verbal et d'activités de métaphonologie. Enfin, ce déficit phonologique, récemment identifié grâce à l'imagerie cérébrale et lié aux troubles de mémoire à court terme et de la mémoire de travail va impacter la boucle phonologique du lecteur, élément du système mnésique que nous présenterons postérieurement.

1.4 Le facteur environnemental

Même si l'origine de la dyslexie se veut être physiologique et génétique, l'environnement de la personne dyslexique impact indéniablement sur son intensité. Les interactions linguistiques précoces entre parents et enfants jouent un rôle déterminant, incluant des activités portant sur la lecture et la prélecture. Selon Peterson & Pennington (2015) une exposition précoce à la compréhension et l'utilisation de l'information écrite dans la famille peut influencer certains

précurseurs au développement des processus de lecture, dont la richesse du vocabulaire. Ceci n'écartera pas le diagnostic de dyslexie mais envisagera un

pronostic plus favorable. De plus, force est de constater que des méthodes d'enseignement plus ou moins appropriées au style d'apprentissage de l'enfant ou un contexte familial perturbé peuvent entraver le développement de ce dernier. Enfin l'impact de ces facteurs environnementaux auraient un effet qui s'atténuerait au fil des ans avec un effet plus significatif durant les années préscolaires.

1.5 Les différentes classifications de dyslexie

Au sein de la dyslexie développementale on retrouve trois grands types de dyslexie avec des symptômes variés : la dyslexie phonologique, la dyslexie de surface et la dyslexie mixte.

La dyslexie phonologique ou dysphonétique, dyslexie la plus fréquente avec près de 60% des personnes dyslexiques, est un déficit de la voie d'assemblage et des difficultés de lecture des non-mots. La difficulté de conversion graphème-phonème engendre une grande difficulté de déchiffrage. On notera des confusions phonémiques (comme le v et le b), des omissions de lecture avec des paralexies verbales et sémantiques.

La dyslexie de surface ou dyséidétique se réfère à un déficit de la voie d'adressage (reconnaissance visuo-attentionnelle). Il s'agit donc d'un trouble de reconnaissance phonologique. Les confusions seront d'ordre phonétique pour les mots que se ressemblent mais implique aussi des difficultés d'épellation (orthographe).

Enfin, la dyslexie dite mixte, comme son nom l'indique, regroupe à la fois des difficultés de voie d'assemblage et d'adressage et ainsi reste la plus handicapante pour l'enfant.

Ces dyslexies sont les plus courantes, cependant, il existe d'autres types de dyslexie qui ont été répertoriées comme la dyslexie motrice caractérisée par la difficulté de mémorisation du geste d'écriture ou encore la dyslexie visuo-attentionnelle avec une perturbation environnementale où l'on observe des inversions de lettre et des lignes sautées.

Ainsi, la dyslexie se présente comme une atteinte persistante affectant une ou plusieurs fonctions cognitives. À ce sujet, nous allons nous intéresser plus particulièrement à la mémoire de travail et son implication dans la dyslexie.

2. La mémoire de travail (MT)

Plusieurs théories ont, à travers les dernières décennies, tenté d'expliquer la dyslexie. Or il a été démontré que cette dernière reste associée à de multiples déficits cognitifs (Pennington 2006). Nombreux sont les neuropsychologues et orthophonistes qui prennent en charge les dyslexies et plus particulièrement les troubles cognitifs qui en dérivent. Parmi ceux-ci, les déficits de mémoire de travail (MT) ont pu être mis en évidence au travers de multiples recherches (Varvara et al., 2014).

La mémoire de travail désigne l'ensemble des processus qui permettent le maintien temporaire des informations, leur manipulation et leur traitement. On se doit de la distinguer de la mémoire à court terme (MCT) qui elle, ne concerne que le simple stockage des informations.

L'information qui est ainsi stockée en mémoire à court terme est traitée et manipulée par la mémoire de travail par le biais de capacités attentionnelles et exécutives (Cowan 2022). Nous allons donc dans un premier temps essayer de mieux comprendre le fonctionnement de la mémoire de travail pour, par la suite, définir les déficits possibles au sein de la

dyslexie.

2.1 La MT au sein du système mnésique

L'automatisation des mécanismes d'apprentissage de la lecture nécessite une rétention mnésique afin de pouvoir la reproduire de plus en plus facilement jusqu'à être automatisée, ce qui procure à la mémoire un rôle prépondérant dans l'acquisition de la lecture.

Le fonctionnement de la mémoire et plus précisément la mémoire de travail

a, durant ces dernières années, fait l'objet d'importantes recherches et nombreux sont les modèles de représentation de la mémoire. Le terme « mémoire de travail » est utilisé pour la première fois par Miller, Galanter et Pribam en 1960 et selon eux,

joue un rôle dans la planification et dans le contrôle des actions. Par la suite, ce seront Baddeley et Hitch en 1974 qui effectueront d'autres recherches pour proposer en 1986 le modèle de la mémoire de travail avec ses différentes composantes.

2.1.1. Le modèle de la MT de

Baddeley.

Ce modèle, qui est la référence pour de nombreux scientifiques, se compose de deux systèmes spécifiques de stockage que sont la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial qui interagissent avec le système de stockage temporaire et le système de contrôle attentionnel (l'administrateur central). Ce modèle comprend également un buffer épisodique (stockage temporaire d'informations multimodales et d'intégration des informations en mémoire à long terme).

La boucle phonologique est sous tendue par le stock phonologique et le mécanisme de récapitulation articulatoire. Elle comprend la manipulation de l'information verbale, le mot. Ces informations sont conservées pendant plus

ou moins deux secondes dans un "stock" et, passé ce délai, celles-ci commenceront à s'effacer. Afin de maintenir les informations plus longtemps, une répétition mentale s'avère nécessaire. Les informations peuvent dès lors être conservées pendant quelques secondes supplémentaires puis, à nouveau être réintroduites dans le stock et ainsi de

suite. On parle alors de stock phonologique et de récapitulation articulatoire. Le processus de récapitulation articulatoire permet d'ailleurs de le réactiver mais également de transformer l'information verbale présentée visuellement en code phonologique pour pouvoir le transférer dans le stock phonologique.

L'existence de la boucle phonologique a été mise en évidence grâce à 4 effets principaux :

- L'effet de similitude phonologique : les mots similaires sont plus difficiles à rappeler.
- L'effet de l'écoute inattentive : le maintien en mémoire phonologique est perturbé par l'écoute même inattentive d'un discours, même prononcé dans

une langue étrangère.

- Les effets de suppression articulatoire : la répétition d'une syllabe ou d'un mot lors du maintien d'informations verbales réduit leur rappel.
- L'effet de longueur des mots : les mots plus longs sont plus difficiles à rappeler. La boucle

phonologique intervient dans l'apprentissage de la lecture, dans la compréhension du langage et l'acquisition de vocabulaire.

Le calepin visuo-spatial, lui, comprend la manipulation de l'information visuelle et mentale. Tout comme la boucle phonologique il contient un espace de stockage et une boucle de répétition.

Le "buffer" ou tampon épisodique est un système temporaire avec une capacité de stockage limitée qui intègre les informations provenant des systèmes de la boucle phonologique, du calepin visuo-spatial et de la mémoire à long terme, permettant ainsi de créer une représentation épisodique unifiée.

L'administrateur central supervise le bon fonctionnement de la MT et gère la coordination de ces deux systèmes. Il facilite la réalisation simultanée de deux tâches, celle du stockage et du traitement.

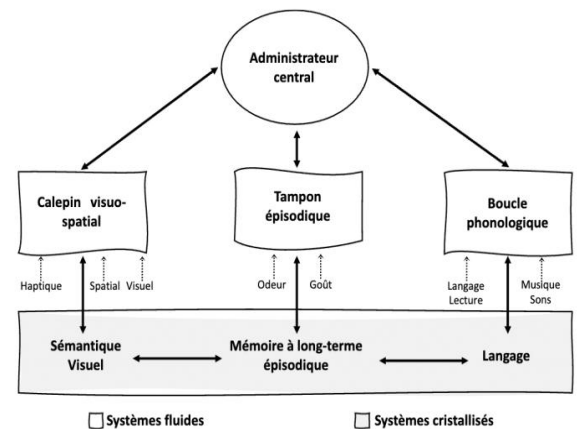


Figure 1.

Représentation schématique du modèle à composantes multiples de Baddeley adaptée de Baddeley et al. (2021)

Enfin un autre aspect à prendre en compte à travers un tel mécanisme est celui de la variabilité, de la complexité du nombre d'information à stocker et du type de traitement à effectuer. Ces variations exerçant une influence certaine, sont qualifiées de charge mentale.

2.1.2 Le modèle de Cowan et les représentations langagières de Majerus.

2.1.2.1 Le modèle de Cowan.

Un autre modèle développé plus récemment, le modèle de Cowan (2021), repose sur l'emboîtement des deux

processus de la MT et de la MTL où l'attention joue un rôle central dans le fonctionnement de la MT. La MT n'est pas indépendante de la MTL mais réside au sein même de cette dernière (Cowan et al., 2021). De plus, l'activation de la MT réside également au sein de la MTL (Majerus 2019), et cela au minimum de la partie activée du système linguistique. Ce modèle de processus emboîtés se base sur un fonctionnement au travers d'un mécanisme attentionnel : le focus attentionnel. A cet effet, l'implication de connaissances à long terme dans une tâche de MT permettrait de regrouper les représentations à maintenir facilement en plus grands blocs (chunks). Enfin, le contrôle attentionnel ou focus attentionnel, apprentissage implicite et rapide, est primordial dans nos interactions avec l'environnement et notre traitement de l'information.

2.1.2.2 Mémoire et représentations langagières selon Majerus.

À ces modèles, sont venus s'ajouter des éléments et composantes au système de fonctionnement de la mémoire. En

s'appuyant sur le modèle de Cowan, la MT dépendrait, en premier lieu, selon Majerus, de connaissances en mémoire à long terme (MLT), mais également de la possibilité

d'activer temporairement ces informations. Ces connaissances concerneraient ainsi les représentations langagières que ce soit au niveau phonologique, lexical, syntaxique ou sémantique mais également les représentations visuelles et spatiales (couleurs, formes, configurations structurelles et directions). Les recherches et les études en neuro-imagerie fonctionnelle ont pu notamment montrer que les représentations langagières et visuelles sont bien activées temporairement lors du maintien à court terme d'informations verbales et visuelles et celles-ci sont d'autant plus limitées si ces informations sont peu familières. Ainsi, selon Majerus on trouverait 3 composantes dans l'activité de la MT :

- L'activation temporaire des bases de connaissances en MLT
- Les processus de contrôle attentionnel et exécutif
- Le maintien de l'ordre des informations

Dans le schéma ci-dessous Majerus présente

les multi-dépendances et relations dans le fonctionnement de la mémoire de travail.

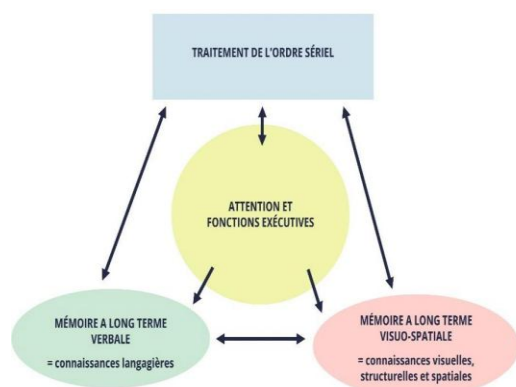


Figure 2.

Vue schématique du modèle intégratif des différentes composantes de la MCT/MT, Majerus (2018)

3. Les déficits en MT dans la dyslexie

Les recherches sur les associations des déficits en MT dans la dyslexie ont notamment mis en évidence des déficits présents dans les tâches de dénomination rapide, de conscience phonologique, de discrimination phonémique et de MT verbale. Ces observations démontreraient une hypothèse phonologique de la dyslexie. Or même si l'hypothèse phonologique reste la plus évidente d'autres éléments doivent être pris en compte pour expliquer ces déficits.

3.1 Troubles phonologiques et déficits en MT

Les déficits de stockage d'information verbale et de manipulation en MT sont variées et pour pouvoir les détecter, les tâches d'empan de chiffre, de rappel sériel immédiat de mots et non mots ou d'empans de chiffres envers sont utilisés. Ces déficits existent chez les enfants dyslexiques mais ne sont pas prépondérants. Les récentes études de Gray et al. (2019) utilisant le modèle de Baddeley et Cowan ont montré de faibles performances sur les tâches de MT chez 24% des enfants avec une dyslexie et des performances moyennes chez 15 % d'entre eux. Une autre étude a montré que 42% des enfants présentaient un déficit de MT phonologique sur les tâches d'empans de chiffre et répétition de non-mots (Mundy et Hannant, 2020).

Or, même si de nombreuses études ont démontré la présence de troubles des représentations phonologiques chez certaines personnes dyslexiques, il semblerait, comme l'a montré Ramus et al. (2013), que le trouble phonologique serait d'avantage lié à un déficit d'accès aux représentations phonologiques et plus particulièrement dans le cas de mobilisation des représentations phonologiques comme les tâches de conscience phonologique, dénomination rapide et MT verbale qui requièrent des

capacités cognitives supplémentaires telle que la métacognition de la MT ou la récupération rapide et sérielle des informations en mémoire à long terme (MLT). Cette principale difficulté d'accès aux représentations phonologiques fut également appuyée par les résultats en imagerie cérébrale (Boets et al., 2013) qui ont démontré une déconnexion entre les régions temporo-pariétales et corticales frontales.

De plus, d'après Majerus, il est difficile de connaître l'origine spécifique des difficultés en MT chez les personnes dyslexiques car elles peuvent être associées à l'accès aux représentations phonologiques d'une part ou être issues d'un trouble de la MT spécifique d'autre part. En outre, d'autres facteurs peuvent s'ajouter à l'intervention dans les tâches de la MT verbale, telles que les difficultés à activer et maintenir la MT de l'item c'est à dire l'identité des informations à mémoriser ; mais aussi des difficultés de la MT de l'ordre sériel c'est à dire l'encodage et maintien des aspects sériels ou bien encore des difficultés de contrôle attentionnel (Majerus et Cowan 2016). À ce propos, nous allons nous intéresser à mieux comprendre l'impact de l'ordre sériel mais aussi l'influence du contrôle attentionnel.

3.2 L'impact de l'ordre sériel dans les déficits de MT

Les problèmes de MT dans la dyslexie seraient donc la conséquence de troubles phonologiques sous-jacents et par conséquent du maintien de l'information "item" phonologique. Or, ces difficultés sont apparues également comme indépendantes des connaissances langagières. Par conséquent on se trouverait alors plus confronté à des difficultés du maintien de l'ordre sériel.

Dès lors, les déficits de la MT dans la dyslexie nous amène ainsi à distinguer d'une part les informations à retenir, c'est à dire leurs caractéristiques phonologiques et sémantiques, également appelé aspect "item" et d'autre part, l'ordre sériel dans lequel ces informations à retenir ont été présentées.

L'ordre des éléments stocké en MT serait récupéré en utilisant des marqueurs de position pour chaque

position lors du rappel. Ce codage reposerait sur des codes spatiaux et temporels. Ainsi la récupération de l'ordre sériel des informations en MT impliquerait les capacités de sélection de l'attention spatiale. Effectivement, le mécanisme de récupération de l'ordre

sériel des informations en MT s'attacherait à vouloir maintenir des éléments verbaux en MT en créant un modèle spatial interne avec des éléments encodés ayant une valeur spatiale pour maintenir l'ordre sériel. De plus, les mécanismes de l'ordre sériel en MT concerne non seulement les informations verbales mais aussi les informations visuo-spatiales et auditives. (Gorin et al., 2016 ; Hurlstone et al., 2014)

A cet effet, l'existence de difficultés au niveau du traitement sériel dans la dyslexie a été observée dans de nombreuses études. Ce serait justement l'ordre sériel de la MT qui prédirait les capacités d'apprentissage verbal et numérique caractérisées par le traitement d'informations séquentielles et les tâches de MT maximiseraient la rétention de l'ordre des informations (Attout et Majerus 2014).

3.3 le rôle du contrôle attentionnel dans la MT

Un autre aspect important dans l'exécution de tâches en MT est l'attention. Selon Barouillet et al. (2009) les capacités de MT sont associées aux aspects attentionnels à travers deux mécanismes.

Le premier étant le contrôle attentionnel impliqué dans l'exécution de la tâche avec la mise en œuvre de stratégies pour sélectionner, encoder et maintenir les stimuli et également au rafraîchissement attentionnel des informations mémorisées qui peut également être associé à l'administrateur central. Le deuxième est le contrôle attentionnel dans la focalisation sur le stimulus. Ainsi, les performances dans les tâches d'empan sont sensibles au niveau de la charge attentionnelle et au nombre de stimuli à maintenir en MT. Il est important de noter que ces deux fonctions seraient distinctes mais pas totalement indépendantes.

De plus selon Rosselet Jordan (2022), la répétition articulatoire d'une part correspond à une articulation subvocale des éléments verbaux à maintenir, ce qui peut être compromis par une articulation concurrente et, d'autre part, le rafraîchissement attentionnel

permet de ramener les éléments à maintenir dans le focus attentionnel pour empêcher leur déclin. Ceci fut également analysé par Schneider, Vergauwe et Camos (2024) qui ont pu démontrer que plus le nombre de stimuli à maintenir est élevé dans les tâches d'empan et de rappel

sériel, plus la charge de MT est élevée étant donné que les processus de maintien sont davantage sollicités. Ainsi, la gestion de la charge de MT est donc considérée comme une caractéristique essentielle des processus de maintien en MT. Ainsi, dans les cas de dyslexie, les déficits de maintien de l'information en MT et l'efficacité du mécanisme attentionnel entre traitement et réactivation des informations devront par conséquent être envisagés. Par ailleurs, le contrôle attentionnel est sous-tendu par une attention auditive ou visuelle.

La typologie des dyslexies développementales aujourd'hui s'appuie de plus en plus sur la dissociation entre déficit phonologique et déficit visuo-attentionnel (Casalis et al., 2018). Enfin la présence de comorbidités fréquentes de la dyslexie avec le TDAH notamment soulignent l'importance des troubles attentionnels dans l'apprentissage de la lecture.

En résumé, les déficits de MT observés dans la dyslexie ont longtemps été considérés comme résultant uniquement de leurs difficultés phonologiques. Cependant plusieurs études ont montré que les personnes dyslexiques pouvaient certes présenter un

déficit de l'item phonologique, mais également un trouble spécifique et indépendant de la MT de l'ordre sériel car comme il l'a été démontré, la MT de l'item et la MT de l'ordre sériel participent de façon indépendante à l'apprentissage du langage écrit. Par ailleurs, des déficits attentionnels ont fréquemment été objectivés par les différentes études menées auprès de sujets dyslexiques. Ces déficits peuvent concerner l'empan visuo-attentionnel (VA) ainsi que l'attention soutenue et sélective en modalité visuelle et auditive, même si les résultats des études sur l'observation de préservation de ces capacités restent mitigés.

4. Évaluation et remédiation de la MT

Les théories sur le fonctionnement de la mémoire de travail ont permis une meilleure compréhension des fonctions cognitives et apporté ainsi une précision

sur la nature et les raisons de certaines difficultés d'apprentissage. En effet, plusieurs études ont montré que les mesures d'empan complexe de mémoire de travail sont liées aux compétences scolaires des enfants, notamment dans le domaine de la lecture. (Gathercole &

Pickering, 2000). Ainsi, le soutien apporté à la réussite scolaire et par la même la remédiation nécessaire dans des déficits de MT deviennent essentiels.

Une remédiation est avant tout un projet spécifique dépendant d'un diagnostic distinct qui résulte d'une évaluation ciblée et approfondie. Le diagnostic de dyslexie est complexe et comprend très souvent une importante variabilité dans les éléments qui la composent. Une remédiation appropriée tentera donc de pallier les déficits spécifiques détectés.

Comme exploré précédemment, trois éléments présents dans les déficits de MT sur lesquels une remédiation serait possible ont pu être identifiés : la MT de l'ordre item, la MT de l'ordre sériel et le contrôle attentionnel. Ainsi nous nous intéresserons d'une part à présenter les évaluations adaptées aux déficits de la MT identifiés et d'autre part à comprendre les effets possibles sur des remédiations envisagées et expérimentées.

4.1. L'évaluation et la remédiation de l'ordre "item"

Le système langagier reposant sur des bases de connaissances phonologiques et sémantiques siège au sein de

l'interaction qui existe entre la composante item avec l'accès aux connaissances en MTL. À cet effet, plusieurs manières de mettre en évidence des déficits liés à cette composante sont possibles. On peut notamment différencier d'une part le traitement et le maintien d'items de nature lexico-sémantique par le biais de rappel de listes de mots par rapport à des listes de non-mots et d'autre part mettre en évidence les difficultés de nature phonologique en utilisant des rappels de listes de non-mots par rapport aux listes de mots. Un autre indice de déficit peut résider dans l'observation de tâche d'emplans réduits de manière importante. Ainsi, une évaluation langagière minutieuse sera nécessaire pour bien comprendre la nature du déficit du système langagier.

Dès lors, la remédiation du déficit langagier se devra de rééduquer le système de stockage temporaire. Majerus (2018) propose à cet effet de chercher à ramener les capacités de stockage temporaire de l'information item en utilisant des exercices de drill intensif au maintien temporaire d'informations verbales tout en ciblant l'aspect linguistique (Harris et al., 2014). En ce qui concerne les difficultés de nature lexico-sémantique, des répétitions de mots de listes de mots ou de phrases peuvent être utilisées et pour les

difficultés d'ordre phonologique on utilisera des répétitions de séquences de non-mots avec une difficulté d'empan progressive.

Cependant même si les études utilisant de tels exercices ont eu des résultats conséquents, ceux-ci ont présenté des effets de transferts distants plus limités (Majerus, 2018). Par ailleurs, il sera important à ce sujet d'utiliser des stimuli nouveaux et variés afin d'éviter la généralisation des effets d'entraînement. Une évolution favorable ne fut en effet observée qu'au travers d'études utilisant des mots entraînés.

4.2 L'évaluation et La remédiation de l'ordre sériel

Avec l'objectif de maximiser le maintien de l'information de l'ordre sériel et de minimiser le maintien de l'information "item", une première évaluation possible va se baser sur la reconstruction de l'ordre sériel de chiffres. La tâche consistera à reconstruire l'ordre de présentation auditive de chiffres imprimés sur des cartes en les arrangeant selon l'ordre requis.

Les chiffres sont connus à l'avance et les séries varient selon l'âge de l'enfant, série de 3 ou 4 chiffres par exemple (Majerus et

al., 2009). Pour les enfants en dessous de 8 ans, il sera recommandé de remplacer les chiffres par des images (objets, animaux). De plus, une autre évaluation possible consiste en une comparaison d'erreur "items" (omissions, paraphasie) lors d'une tâche de rappel de listes de mots.

En ce qui concerne la remédiation de l'ordre sériel, il existe malheureusement à ce jour, peu de techniques validées. Une d'entre elles vise à développer les capacités de l'ordre sériel à travers des tâches de mémorisation et de comparaison de listes de mots qui ne diffèrent uniquement que par l'ordre. Cette remédiation a cependant des effets de transfert distant comme sur les tâches de compréhension de phrase très limités (Salis et al., 2017).

Une autre technique qui fut utilisée auprès de sujets trisomiques (Smith, 2014), propose des exercices de mémorisation de l'ordre d'informations audito-verbales associées à un élément visuel sur un paysage structuré suivant un sens linéaire (de gauche à droite). L'objectif consiste en l'association de l'ordre temporel d'un mot avec une position spatiale sur un cadre de référence (paysage) structuré de gauche à droite.

Les résultats ont montré une amélioration importante de la MT verbale. Ces résultats coïncident avec ceux observés dans des recherches suggérant que l'ordre des informations verbales est codé à travers des codes spatiaux selon une dimension gauche-droite. (Van Dijck & Fias, 2011). Ainsi le marquage de position sérielle pourrait activer ces codes et faciliter l'encodage de séquences audito-verbales.

4.3 L'évaluation et la remédiation du contrôle attentionnel

En partant du constat que les tâches de stockage et de manipulation d'information requièrent davantage de processus de contrôle attentionnel et exécutif, on peut dès lors utiliser des tâches classiques, d'empan de chiffre à rebours mais aussi des tâches d'empan alphabétique ou catégoriel (rappel de mots en ordre alphabétique ou par catégories sémantiques) pour l'évaluation des aspects attentionnels et exécutifs, moyennant néanmoins des connaissances suffisantes.

En ce qui concerne plus précisément la focalisation et le rafraîchissement attentionnel, des évaluations basées sur l'utilisation du

rafraîchissement attentionnel en vue d'optimiser le maintien des informations en MT ont récemment été développées par Oftinger & Camos (2016). L'évaluation proposée demande à l'enfant de mémoriser dans un premier temps les lettres présentées qui sont associées à des images. L'enfant doit alors juger si ces images sont colorées. Cet exercice est considéré comme étant de charge faible avec un rafraîchissement attentionnel possible. Puis il est demandé à l'enfant si ces images font parties d'une classe sémantique pré-spécifiées. Cet exercice relève d'une charge élevée et le rafraîchissement attentionnel est diminué. L'évaluation de ces tâches permet ainsi d'observer l'augmentation des performances entre les conditions à charge faible et à charge élevée.

Quant aux remédiations pour le déficit attentionnel dans la MT, elles ont récemment souligné des effets notables avec une augmentation de performances par rapport aux performances initiales. Ces résultats encourageants utilisent des programmes d'entraînement attentionnel tels que ATP (Attention Training Process). Vallat-Azouvi et al. (2014) ont pu notamment démontrer des effets de performances même si ces remédiations

sont majoritairement appliquées à des études de cas ciblées sur une seule personne. De plus, les tâches requises pour ces évaluations comprennent généralement des exercices intensifs de stockage et manipulation de l'information avec l'utilisation de rappels alphabétiques de listes de mots, tâches de type N-back, tâches de jugement et de maintien de phrase.). Toutefois une difficulté réside dans le fait que les tâches mesurées contiennent elles-mêmes une tâche attentionnelle et exécutive relativement importante, comme pour notamment les exercices d'empan de chiffres envers (Majerus, 2018).

4.4 Quelles remédiations de la MT envisageables chez les sujets dyslexiques ?

4.4.1. Récentes études sur la remédiation possible de la MT.

Les études indiquant des performances sur l'augmentation de la MT avec un l'entraînement ciblé sont encore très éparées et leurs résultats sont encore peu prometteurs. Swanson et al. (2011) se sont intéressés à la remédiation de la MT de l'item avec une stratégie de récapitulation articulatoire. Les résultats

ont démontré une amélioration des performances sur les tâches de MT verbale certes, mais n'ont pas pour autant présenter une augmentation de leurs capacités de MT. Une autre étude auprès de sujets dyslexiques résidant en Chine avec des résultats positifs présentant une augmentation des capacités et de l'efficacité d'un entraînement de la MT, ne peut malheureusement être généralisable en raison de la spécificité du système alphabétique chinois (Yang et al., 2017). L'étude de Shiran & Bretznitz (2011) utilisant le programme informatisé "Cognifit" comprenant des exercices d'empan visuels, verbaux et visuo-spatiaux, a mis en évidence des performances inférieures chez des personnes dyslexiques par rapport aux normo-lecteurs. Les améliorations se situaient davantage sur les effets d'apprentissage ou de test-retest plutôt que sur une amélioration des capacités de MT. L'étude de Maelher et al. (2019) utilisant un entraînement comprenant des activités de MT verbale et visuo-spatiale, visant le contrôle attentionnel n'a montré que de faibles effets sur les tâches de MT avec un manque de maintien sur le long terme. Par ailleurs, une autre étude, celle de Lofti et al. (2020), qui s'est concentrée sur les effets d'entraînement d'adaptation de la

MT en modalité visuo-spatiale, a démontré certains effets sur les performances mais de manière non significative. Les résultats se sont toutefois avérés limités en raison de l'absence de groupe contrôle ayant bénéficié d'un entraînement alternatif.

Enfin une étude récente et notable de Wokuri (2024) a examiné les spécificités de déficits de MT chez les enfants dyslexiques en prenant en compte la dissociation de l'ordre de l'item et de l'ordre sériel et a tenté d'appliquer un entraînement thérapeutique ciblé. Les résultats ont pu démontrer l'hétérogénéité des déficits de la MT avec une dissociation des déficits de MT de l'item et de l'ordre sériel. Plusieurs profils distincts de déficit de la MT ont été mis en évidence.

Un profil comprenant un déficit en MT de l'item et de l'ordre sériel qui impliquait soit un trouble cognitif au niveau des processus attentionnel et exécutif, soit un dysfonctionnement linguistique, comme le déficit central d'apprentissage sériel. Un autre présentant un déficit de MT de l'item avec un déficit de conscience phonologique et/ou discrimination

phonémique et un troisième correspondant à un déficit de l'ordre sériel avec trouble phonologique mais sans déficit de MT de

l'item. Cette étude a également mis en évidence que les déficits de la MT de l'item et de l'ordre sériel ne pouvait pas être expliqué par des troubles de contrôle attentionnel et que les difficultés de contrôle attentionnel n'étaient pas la conséquence des déficits de MT de l'item et de l'ordre sériel. L'auteur s'attache par la suite à évoquer les possibles remédiations de ces profils distincts. Face à l'hétérogénéité des déficits des groupe d'enfant dyslexiques, une remédiation utilisant une stimulation globale de la MT est peu compatible et ainsi une approche cognitive pour la remédiation des déficits de MT dans la dyslexie semble préférable. La remédiation de MT de l'item phonologique implique un entraînement du maintien de l'information phonologique en MT et se penche ainsi sur une stratégie de récapitulation articulatoire et de codage visuel des informations phonologiques. Or, même si celle-ci engendre des résultats positifs, les résultats restent contrastés. De plus les remédiations ciblées sur la MT de l'item et la MT de l'ordre sériel sont également disparates. Ces résultats peu satisfaisants pourraient

s'expliquer en partie par un contexte complexe pendant le déroulement

de l'expérience. Celle-ci fut en effet entreprise durant la période de COVID impliquant des séances à distance qui ont mis en jeu la qualité de la thérapie, mais aussi peuvent remettre en question la santé mentale des sujets de l'expérience.

4.4.2 Exemples de programmes informatisés de remédiation d'entraînement sur la MT applicable à la dyslexie : Cogmed et Magic Memory.

Dans l'optique d'une remédiation de la MT applicable aux personnes dyslexiques, il est intéressant de citer la création de deux applications informatiques récentes qui sont actuellement utilisées : Cogmed et Magic Memory.

L'application "Cogmed", programme informatique de remédiation pour améliorer l'attention et la mémoire de travail utilise une approche cognitive de l'aspect modulaire de la MT. Celui-ci vise, à travers des exercices de contrôle attentionnel, d'attention divisée, de mémoire à court terme visuo-spatiale et/ou audito-verbale et de mémoire de travail visuo-spatiale et/ou audito-verbale. Les expérimentations de cette étude ont démontré que l'entraînement de la MT permet d'augmenter la capacité de

l'empan de la boucle phonologique et celle du calepin visuospatial, et il permet ainsi d'améliorer la performance de l'administrateur central dans les modalités verbale et visuo-spatiale, entraînant une amélioration globale de la MT (El-mir et Anmour, 2023). Toutefois des études sur l'impact au niveau de l'amélioration en MT ont démontré un effet uniquement à court terme et sur les tâches proches de celles entraînées, sans pour autant permettre un transfert sur les apprentissages ou autres capacités cognitives. (Rivard et al., 2020). Ainsi les bénéfices à long terme restent à être prouvés.

L'autre programme récent, appelé "Magic Memory" et développé par Hélène Delage et Julien Dacosta se concentre également sur l'entraînement de la mémoire de travail. Magic Memory s'appuie plus particulièrement sur la MT de l'ordre sériel et sur le contrôle attentionnel. Les activités proposées se basent sur les phases de 1) familiarisation, 2) stockage et 3) de rappel et comportent des tâches d'empans simples dans leur composante sérielle (écoute de mots familiers et placement de leurs images correspondantes dans l'ordre sur les

wagons d'un train), des tâches d'empan

complexes, associé à l'aspect sériel et la composante attentionnelle, avec un traitement interférant avec le stockage de l'ordre de stimuli auditifs; une mise à jour de la MT par le biais de tâches de N-back avec complexité visuelle faible; et enfin des activités d'empan avec des couleurs (écoute de séries de noms de couleurs croissantes à remettre dans l'ordre puis dans l'ordre inverse). Les performances de cette application sont en cours d'étude. Elle a récemment été utilisée pour l'entraînement de la MT pour remédier aux déficits de syntaxe chez les enfants avec des troubles développementaux du langage (Delage et al., 2023) avec des résultats encourageants suggérés mais qui restent encore à être prouvés.

5. Discussion

La compréhension des dysfonctionnements dans l'apprentissage de la lecture a donc beaucoup progressé ces dernières décennies et il est désormais manifeste de considérer la dyslexie comme un trouble multifactoriel pouvant impliquer des troubles phonologiques, attentionnels ainsi que des déficits de MT. Ces déficits de MT se distinguent par,

d'une part des informations à retenir, c'est à dire leurs caractéristiques phonologiques et sémantiques, également appelé aspect "item" et de l'autre, l'ordre sériel dans lequel ces informations à retenir ont été présentées. Les tâches de stockage et de manipulation d'information nécessaires à l'utilisation de la MT exigent également un processus de contrôle attentionnel et exécutif. Or, force est de constater que les mécanismes qui sous-tendent ces déficits sont encore peu connus et il reste encore beaucoup à découvrir et comprendre, notamment, le rôle de l'attention spatiale et de l'apprentissage séquentiel dans les déficits de la MT de l'ordre sériel. Ainsi la prise de décision pour une intervention sur la mémoire de travail chez un enfant dyslexique est complexe.

L'évaluation des déficits de la personne dyslexique devient par là même un maillon primordial. Tout comme un profil génétique, le profil d'un sujet dyslexique sera unique et déceler les multiples facettes de ce trouble sera la base d'une remédiation possible. Or, les déficits de MT qui ne sont pas prépondérants dans les diagnostics de dyslexie, font partie d'un des piliers de l'apprentissage. Ainsi, le repérage et le développement de la MT au sein même du contexte scolaire doit se

baser sur les dernières découvertes en la matière, notamment dans les années d'apprentissage de la lecture. À cet effet, les stratégies à mettre en place pour les élèves dyslexiques devront être employées au sein même du développement de l'enfant dyslexique dans le milieu scolaire. Majerus (2018) préconise notamment l'articulation subvocale et l'utilisation d'un codage multimodal, c'est à dire permettre l'encodage de l'information au niveau verbal, sémantique et visuel en générant une image mentale. L'auteur encourage également la prise en compte des limites de chaque individu afin d'éviter une surcharge de MT et de l'aspect sériel, l'emploi de conditions matérielles adaptées (support écrit) et un environnement propice à une focalisation attentionnelle (diminution de distractions de l'environnement sensoriel et structurel). De la sorte, les stratégies à appliquer par les enseignants pouvant stimuler la MT regrouperont la répétition active, le regroupement des informations et leur organisation en catégories et séquences logiques tout en favorisant la visualisation des informations (images mentales et pictogrammes) pour faciliter le rappel ainsi qu'une approche multisensorielle. Toutes ces stratégies

pourront être appuyées par des jeux et exercices variés, structurés et applicables aux objectifs d'enseignement. Ce seront des activités de mémoire, d'associations, de séquences et catégorisations. Enfin, assurer et développer l'engagement et la motivation de l'apprenant dans ces activités sera un facteur essentiel pour optimiser la stimulation de la MT.

Par ailleurs, un des aspects primordiaux pour l'enseignant sera de transmettre des informations qui s'adaptent à l'âge de l'apprenant, c'est à dire des informations qui auront un sens pour l'enfant car ce dernier, dans son utilisation de la MT, va puiser dans sa mémoire de travail à long terme. Toutes ces suggestions seront évidemment recommandées, mais dépendantes de la volonté de l'enseignant et de la famille ; ce qui renforce avant tout la nécessité d'un entendement et d'un soutien de stratégies applicables de la part des professionnels (orthophonistes, enseignants) et de la famille de la personne dyslexique.

Enfin, même si les résultats sur l'efficacité des entraînements et remédiations de la MT chez les dyslexiques restent peu convaincants, il apparaît important de poursuivre des remédiations ciblées sur les déficits de MT chez les personnes dyslexiques. Même si

les effets ne sont encore que sur le court terme, pouvoir démontrer à une personne dyslexique les progrès atteints dans ces domaines, sont une preuve inestimable pour l'estime de soi et la motivation. En effet, la motivation intrinsèque notamment joue un rôle fondamental dans les apprentissages en influençant la qualité et la durabilité des acquisitions, permettant de persévérer devant les difficultés rencontrées et adopter des stratégies pour les surmonter. De plus, cette motivation favorisera la concentration et la gestion du temps. Ainsi une démarche de remédiation devra,

sans aucun doute, s'appuyer sur une approche holistique comprenant les spécialistes de rééducation, l'entourage familial, les enseignants et un environnement positif et adapté à des conditions d'apprentissage optimales.

Conclusion

Les déficits de la MT sont une caractéristique importante de la dyslexie, affectant à la fois les domaines phonologique et visuo-spatial et à ceux-ci s'ajoutent également des mécanismes attentionnels. Même si notre compréhension des déficits de la MT s'améliore, nos connaissances sur l'efficacité de sa remédiation sont

relativement faibles.

De ce fait, l'hétérogénéité des atteintes de la MT dans la dyslexie doit être prise en compte. En effet, il a récemment été démontré que ces déficits en MT peuvent provenir de multiples difficultés comme celle d'activer et maintenir la MT de l'item c'est à dire l'identité des informations à mémoriser ; celle des difficultés de la MT de l'ordre sériel c'est à dire l'encodage et maintien des aspects sériels ou bien encore celle des difficultés de contrôle attentionnel. Or, même si l'entraînement sur ces aspects distincts témoignent d'améliorations non négligeables sur la réhabilitation de la MT, les résultats des interventions sur la MT de l'item, la MT de l'ordre sériel et du contrôle attentionnel restent à ce jour encore contrastés et peu convaincants sur le long terme.

Il apparaît néanmoins important d'identifier les difficultés individuelles afin de, non seulement de définir le profil de la personne dyslexique et ses composantes distinctes mais aussi d'utiliser des entraînements spécifiques pour des thérapies appliquées. Cette thérapie holistique et personnalisée ciblant les éléments de la MT définis devra également comprendre d'autres aspects, comme l'impact des caractéristiques

visuo-spatiales et cognitives des personnes dyslexiques. Quoi qu'il en soit, l'exploration à travers d'autres études sur l'efficacité des interventions thérapeutiques en MT chez les personnes dyslexiques visant des effets tangibles sur le long terme, devra se poursuivre.

Bibliographie

- Attout, L. et Majerus, S. (2014). Working memory deficits in developmental dyscalculia: the importance of serial order. *Child Neuropsychology* 21(4), 432-445.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2014.922170>
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: A time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, 45(2), 477-490.
<https://doi.org/10.1037/a0014615>
- Bertoni, S., Franceschini, S., Ronconi, L., Gori, S., & Facoetti, A. (2019). Is excessive visual crowding casually linked to developmental dyslexia? *Neuropsychologia*, 130, 107-117.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.018>
- Boets, B., Op De Beeck, H., Vandermosten, M., Scott, S.K., Gillebert, C.R., Mantini, D., Bulthe, J., Sunaert, S., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science*, 342, 1251-1254.
<https://doi.org/10.1126/science.1244333>
- Bouma, H., & Legein, C.P. Foveal and parafoveal recognition of letters and words by dyslexics and by average readers. *Neuropsychologia*, 15(1), 69–80.
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(77\)90116-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(77)90116-6)
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204–256.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.108.1.204>
- Cowan, N. (2022) Working Memory Development : A 50 year assessment of research and underlying theories. *Cognition*, 224, 1-19.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105075>
- Daheane, S., Kolinsky, R., Morais, J., & Cohen, L. (2018). Les bases neurales de l'apprentissage de la lecture. *Langue française*, 199(3), 17-33.
<https://doi.org/10.3917/lf.199.0017>

- Delage, H., Baratti, C., Durrleman, S., Stanford, E.N., (2023). Working memory training in children with developmental language disorder: Effect on complex syntax in narratives. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 3. <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.1068959>
- El-Mir, M., & Ammour, H. (2023). *Working memory training in dyslexia*. Département de Psychologie, Faculty of Letters and Human Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fes, Morocco. <https://doi.org/10.57642/AJOPSY-13>
- 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(2), 177–194. <https://doi.org/10.1348/000709900158047>
- Giasson, J., & Vandecasteele, G. (2012). *La lecture : Apprentissage et difficultés*. De Boeck.
- Gorin, S., Kowialiewski, B., & Majerus, S. (2016). Domain-generalty of timing-based serial order processes in short-term memory: New insights from musical and verbal domains. *PLOS ONE*, 11(12), Article e0168699. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168699>
- Gray, S., Fox, A., Green, S., Alt, M., Hogan, T., 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(6), 1839–1858. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-L-18-0148
- Habib, M. (2018). Dyslexie de développement. *EMC - Psychiatrie*, 16(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0246-1072\(18\)81436-5](https://doi.org/10.1016/S0246-1072(18)81436-5)
- Harrar-Eskinazi, K. L., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Ziegler, J. C., & Faure, S. (2022). Multimodal intervention in 8 to 13 year old dyslexic readers: Study protocol for a random multicenter controlled crossover trial. *BMC Pediatrics*, 22(1), Article 741. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03701-8>

- Harris, L., Olson, A., & Humphreys, G. (2014). The link between STM and sentence comprehension: A neuropsychological rehabilitation study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 24(5), 678–720. <https://doi.org/10.1080/09602011.2014.892885>
- Hurlstone, M. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2014). Memory for serial order across domains: An overview of the literature and directions for future research. *Psychological Bulletin*, 140(2), 339–373. <https://doi.org/10.1037/a0034221>
- Lotfi, S., Rostami, R., Shokoohi-Yekta, M., Ward, R. T., Motamed-Yeganeh, N., Mathew, A. S., & Lee, H. J. (2020). Effects of computerized cognitive training for children with dyslexia: An ERP study. *Journal of Neurolinguistics*, 55, Article 100904. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2020.100904>
- Maehler, C., Joerns, C., & Schuchardt, K. (2019). Training working memory of children with and without dyslexia. *Children*, 6(3), Article 47. <https://doi.org/10.3390/children6030047>
- Magic Memory. (s. d.). *Magic Memory*. TECFA - Université de Genève. <https://tecfa.unige.ch/proj/magicmemory/generic.html>
- Majerus, S. (2009). Verbal short-term memory and temporary activation of language representations: The importance of distinguishing item and order information. Dans A. S. C. Thorn & M. P. A. Page (Éds.), *Interactions between short-term and long-term memory in the verbal domain* (p. 244–276). Psychology Press.
- Majerus, S. (2018a). Les troubles de la mémoire de travail chez l'enfant : Comment les évaluer ? Comment les rééduquer ? Dans A. Roy, G. A. L. Aubin, & M. L. E. M. L. H. E. L. (Éds.), *Neuropsychologie de l'enfant : Approches cliniques, modélisations théoriques et méthodes* (p. 150–167). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.roy.2018.01.0150>
- Majerus, S. (2018b). Working memory treatment in aphasia: A theoretical and quantitative review. *Journal of Neurolinguistics*, 48, 157–175.

- <https://doi.org/10.1016/j.jneurolin.2017.12.001>
- Majerus, S. (2019, 5 mai). *Apprentissages scolaires et mémoire de travail / mémoire à court terme*. Synapses. <https://synapses-lamap.org/2019/05/05/apprentissages-scolaires-et-memoire-de-travail-memoire-a-court-terme/>
- Majerus, S., & Cowan, N. (2016). The nature of verbal short-term impairment in dyslexia: The importance of serial order. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 1522. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01522>
- Mundy, I., & Hannant, P. (2020). Exploring the phonological profiles of children with reading difficulties: A multiple case study. *Dyslexia*, 26(4), 411–426. <https://doi.org/10.1002/dys.1667>
- Ofinger, A. L., & Camos, V. (2016). Maintenance mechanisms in children's verbal working memory. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 6(1), 16–28. <https://doi.org/10.5539/jedp.v6n1p16>
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2015). Developmental dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 11(1), 283–307. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112842>
- Ramus, F. (2006). *Origines cognitives, cérébrales et génétiques des troubles de l'acquisition du langage* [Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI]. TEL (Thèses-en-ligne). <https://theses.hal.science/tel-00242514v1>
- Ramus, F., Marshall, C. R., Rosen, S., & Van der Lely, H. K. J. (2013). Phonological deficits in specific language impairment and developmental dyslexia: Towards a multidimensional model. *Brain*, 136(2), 630–645. <https://doi.org/10.1093/brain/aws356>
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1),

- 129–141.
<https://doi.org/10.1080/17470210701508822>
- Rivard, C., Dentz, A., Romo, L., Parent, V., Guay, M. C., & Gauthier, B. (2020). Suivi à long terme des effets d'entraînement de la mémoire de travail (Cogmed) auprès d'enfants présentant un TDA/H. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 68(1), 29–38.
<https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2019.11.001>
- Rosselet-Jordan, F. (2022). *Une médiation attentionnelle entre mémoire de travail et mémoire à long terme ? L'impact de la disponibilité du rafraichissement attentionnel sur les effets de connaissances à long terme dans une tâche de mémoire de travail* [Thèse de doctorat, Université de Fribourg]. FOLIA.
<https://doi.org/10.51363/unifr.lth.2022.003>
- 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(1), 29–39.
<https://doi.org/10.1055/s-0036-1597262>
- Scerri, T. S., & Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 19(3), 179–197.
<https://doi.org/10.1007/s00787-009-0081-0>
- Schneider, P., Vergauwe, E., & Camos, V. (2024). The visual familiarity effect on attentional working memory maintenance. *Memory & Cognition*, 52(8), 1882–1899.
<https://doi.org/10.3758/s13421-024-01548-1>
- Seassau, M., & Bucci, M. P. (2013). Reading and visual search: A developmental study in normal children. *PLOS ONE*, 8(7), Article e70261.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070261>
- 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.

- <https://doi.org/10.1016/j.jneurolin.2010.12.001>
- Smith, E. A., & Jarrold, C. (2014). Demonstrating the effects of phonological similarity and frequency on item and order memory in Down syndrome using process dissociation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 128, 69–87. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.07.002>
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147–152. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(96\)01005-3](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(96)01005-3)
- Swanson, E., Wanzek, J., Petscher, Y., Vaughn, S., Heckert, J., Cavanaugh, C., Kraft, G., & Tackett, K. (2011). A synthesis of read-aloud interventions on early reading outcomes among preschool through third graders at risk for reading difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 44(4), 396–410. <https://doi.org/10.1177/0022219411412331>
- Vallat-Azouvi, C., Pradat-Diehl, P., & Azouvi, P. (2014). Modularity in rehabilitation of working memory: A single case study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 24(2), 220–237. <https://doi.org/10.1080/09602011.2014.881294>
- Van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition*, 119(1), 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.12.013>
- Varvara, P., Varuzza, C., Sorrentino, A. C., Vicari, S., & Menghini, D. (2014). Executive functions in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 120. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00120>
- Wokuri, S. (2024). *Déficit de mémoire de travail et de mémoire à court terme dans la dyslexie : Évaluation et remédiation* [Thèse de doctorat, Université Rennes 2]. Thèses.fr. <http://www.theses.fr/2024REN2002/document>
- Wokuri, S., Gonthier, C., Marec-Breton, N., & Majerus, S. (2023). Heterogeneity of short-term memory deficits in children with

dyslexia. *Dyslexia*, 29(4), 385–407.

<https://doi.org/10.1002/dys.1749>

Wokuri, S., & Marec-Breton, N. (2018).

Mémoire de travail et troubles phonologiques chez le dyslexique. *Revue de neuropsychologie*, 10(4), 269–278.

<https://doi.org/10.3917/rne.104.0269>

Yang, J., Peng, J., Zhang, D., Zheng, L., & Mo, L. (2017). Specific effects of working memory training on the reading skills of Chinese children with developmental dyslexia. *PLOS ONE*, 12(11), Article e0186114.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186114>

Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M.

(2020). Learning to read and dyslexia: From theory to intervention through personalized computational models. *Current Directions in Psychological Science*, 29(3), 293–300.

<https://doi.org/10.1177/0963721420915873>