



Evaluation de la mémoire de travail chez l'enfant : analyse quantitative et qualitative à partir des outils existants

Catherine Monnier, Lucie Attout

► To cite this version:

Catherine Monnier, Lucie Attout. Evaluation de la mémoire de travail chez l'enfant : analyse quantitative et qualitative à partir des outils existants. A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant, 2021. hal-03233459

HAL Id: hal-03233459

<https://univ-montpellier3-paul-valery.hal.science/hal-03233459>

Submitted on 6 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation de la mémoire de travail chez l'enfant : Analyse quantitative et qualitative à partir des outils existants

Catherine Monnier¹ et Lucie Atout²

¹ Univ Paul Valéry Montpellier 3, Univ Montpellier, EPSYLON EA 4556, 34000 Montpellier, France

² Psychologie et Neurosciences Cognitives, Université de Liège, Boulevard du Rectorat, B33, 4000 Liège, Belgique

Adresse pour correspondance :

Catherine Monnier

Laboratoire Epsilon, EA 4556

Université Paul-Valéry Montpellier 3

71, rue du Pr. Henri Serre

34090 Montpellier

France

Tel.: (33) 467 142 198

Email: catherine.monnier@univ-montp3.fr

Résumé

Parce que la Mémoire de Travail (MdT) est intimement liée aux apprentissages scolaires mais aussi aux activités quotidiennes, disposer d'outils adaptés pour identifier les enfants présentant une faiblesse en MdT paraît essentiel. Cet article répertorie les outils francophones existants en clinique et d'autres plus expérimentaux afin de réaliser une analyse approfondie du (des) déficit(s) en MdT chez l'enfant et à terme de cibler au mieux leur prise en charge.

Mots clés

Outils d'évaluation; Mémoire de Travail; ordre sériel; langage; habiletés visuo-spatiales

Abstract

Since working memory (WM) is closely related to several learning and daily activities, it is crucial to have adapted assessment tools which identify children with a weakness in WM. This article lists the current clinical assessment tools in French, including more experimental tools, required to conduct in-depth assessment of WM deficit and to lead to an appropriate rehabilitation of this deficit.

Keywords

Assessment tools; Working Memory; serial order; language; visuospatial skills

Resumen

Debido a que la Memoria de Trabajo (MT) está íntimamente ligada al aprendizaje escolar, y también a las actividades diarias, parece esencial tener herramientas adaptadas para identificar a los niños con una debilidad en la MT. En el presente artículo se enumeran los instrumentos clínicos y otros más experimentales existentes en francés para realizar un análisis a fondo de la(s) deficiencia(s) de la MT del niño y, en última instancia, para orientar su gestión de la rehabilitación de la manera más eficaz posible.

Palabras clave

Instrumentos de evaluación; Memoria de Trabajo; orden en serie; lenguaje; habilidades visoespaciales

Thomas lève le doigt pour répondre à la question de son enseignant. Lorsqu'il est interrogé après l'intervention de Laura, il ne sait plus ce qu'il voulait dire. Julie arrive dans la chambre un magazine à la main. Qu'était-elle venue faire là déjà ? Ces quelques oublis pourraient suggérer un défaut de Mémoire de Travail (MdT).

La MdT renvoie à notre capacité à maintenir temporairement des informations à l'esprit et à les manipuler mentalement sur une courte période temporelle lorsque nous souhaitons atteindre un objectif particulier (Cowan & Alloway, 2009). Elle est essentielle dans de nombreuses activités quotidiennes mais aussi dans les apprentissages scolaires (e.g., Attout et al., 2014; De Smedt et al., 2009; Nevo & Breznitz, 2011). Ainsi, une capacité de MdT réduite semble caractériser des enfants présentant des difficultés d'apprentissage en lecture et en écriture mais aussi en mathématiques (Attout & Majerus, 2014; Schuchardt et al., 2008). Dès lors, disposer d'outils adaptés pour identifier précocement les enfants présentant une faiblesse en MdT paraît essentiel afin d'accompagner ces enfants au mieux voire de prévenir les difficultés d'apprentissage.

Cependant, la question des mécanismes sous-jacents à la MdT reste encore fortement débattue, impactant directement notre capacité à évaluer de façon pertinente la MdT. Effectivement, alors que certains modèles théoriques considèrent la MdT comme une entité à part entière de maintien temporaire (Baddeley, 1998; voir pour une synthèse Miyake & Shah, 1999), d'autres proposent que celle-ci serait uniquement la résultante d'activations temporaires de connaissances à long-terme, langagières ou visuo-spatiales (Conway & Engle, 1994; Martin et al., 1999; Martin et al., 1996) et enfin de nombreux modèles actuels proposent une vision intermédiaire (Henson, 1998; Hurlstone et al., 2014; Majerus, 2013; Oberauer, 2009). Ces derniers modèles reposent sur de nombreuses études mettant en évidence son caractère éphémère mais aussi situent la MdT comme étant au cœur de nombreuses interactions, rendant ainsi difficile de considérer cette habileté comme propre et indépendante du reste du

fonctionnement cognitif. Une conséquence directe de ces nombreux débats théoriques actuels est que le domaine de l'évaluation en MdT reste sous outillé par rapport à d'autres fonctions cognitives.

Tout au long de cet article, nous adopterons la terminologie MdT englobant à la fois le stockage et la manipulation des informations maintenues temporairement en mémoire selon la récente proposition de Cowan (2017). Le passage du stockage à la manipulation est dès lors considéré comme un continuum plutôt que comme une dichotomie. Davantage par soucis pratique que théorique, nous avons décidé de discuter dans un premier temps des outils d'évaluation qui mesurent de façon plus spécifique le stockage en MdT et ensuite d'aborder les outils permettant d'évaluer les aspects de manipulation de l'information en MdT. Le tableau 1 synthétise les différents outils présentés.

1. Evaluer la composante stockage de la MdT

Le nombre exact d'informations pouvant être maintenues en MdT reste encore actuellement très débattu mais indiscutablement, cette capacité de stockage est limitée. En général, un jeune adulte peut maintenir une liste de 6 chiffres, une liste de 5 mots connus et une liste de 2-3 non-mots complexes (non-mot éloigné d'un mot existant et multi-syllabique). Le développement des capacités de MdT semble être très rapide et commencerait très tôt dans l'enfance. Cette capacité de stockage va varier en fonction du type d'information à maintenir, selon leur familiarité (retenir une forme spatiale en U ou un mot comme *armoire* plutôt qu'une forme spatiale abstraite ou un mot comme *loquet*) et leur complexité (retenir une forme en U ou un mot comme *chat* plutôt qu'une forme en fourchette ou un mot comme *éléphant*). Une autre variable essentielle dans l'évaluation de la MdT est la difficulté de la tâche proposée et ce surtout dans un contexte développemental où les stratégies de maintien de l'information sont moins stables. Une étude récente montre que certaines particularités de la tâche comme le type de rappel (respect de l'ordre de présentation des items ou non), la modalité de réponse (rappel

ou reconnaissance), les besoins de mise à jour (actualisation des informations en MdT) et les distracteurs influencent la stratégie de maintien et dès lors les performances en MdT (Morrison et al., 2016; Poloczek et al., 2019). Si les performances en MdT sont dépendantes du type de tâche utilisée, il est essentiel de pouvoir faire varier cet élément dans les différentes évaluations menées.

De nombreux outils de première ligne permettent de quantifier les capacités de stockage en MdT. Un empan endroit est généralement administré pour obtenir une estimation de la capacité de stockage de la MdT verbale. Cet empan est dans la plupart des batteries, administré avec des chiffres (WISC-V, Wechsler, 2014a; CMS, Cohen, 2000; KABC II, Kaufman & Kaufman, 2008). Dans certains cas, il est néanmoins préférable d'éviter les chiffres comme support, en remplaçant ceux-ci par des lettres ou des mots, comme par exemple pour évaluer la MdT chez des enfants présentant des troubles spécifiques des apprentissages mathématiques. Par exemple, l'épreuve *Suite de mots* dans la batterie KABC II consiste à demander à l'enfant de montrer du doigt des dessins d'objets usuels dans le même ordre que celui énoncé dans un premier temps par le clinicien. Elle permet, tout comme l'empan de chiffres d'obtenir une mesure du rappel dans l'ordre d'informations verbales mais a l'avantage de ne pas utiliser de chiffres et de ne pas nécessiter un rappel oral des mots mais bien une reconstruction à partir d'images. Une autre épreuve de première ligne qui peut également amener des informations complémentaires est celle de *Répétition de phrases* de la NEPSY II (Korkman et al., 2012) mais elle est normée uniquement pour les 5 et 6 ans. L'enfant doit répéter des phrases de plus en plus longues et complexes directement après les avoir entendues. Elle a l'avantage de fournir une estimation de la capacité de la MdT verbale plus écologique, ce type de tâche se rapprochant davantage de la vie quotidienne (compréhension de consignes) qu'un empan de chiffres ou qu'une répétition de mots. Cependant, comme de nombreuses tâches plus écologiques, elle est

évidemment multidéterminée, rendant impossible de cibler la difficulté mais bien de l'objectiver.

Par ailleurs, même si toutes ces tâches sont intéressantes et normées chez le jeune enfant, elles ne permettent pas de minimiser l'influence des connaissances langagières à long-terme comme suscitées par l'utilisation de mots, chiffres ou phrases. Une épreuve très pertinente pour pallier cette limite et qui peut être utilisée chez de jeunes enfants est celle de *Répétition de non-mots*. Dans cette épreuve, développée en langue française par Poncelet & Van der Linden (2003), l'enfant doit répéter un non-mot de longueur (2 à 8 syllabes) et complexité (consonne-voyelle puis consonne-voyelle-consonne) croissantes directement après l'écoute de celui-ci.

Au niveau du versant visuo-spatial, une des épreuves de première ligne la plus utilisée et possédant des normes relativement étendues allant de 4 ans à l'âge adulte (Farrell Pagulayan et al., 2006; Orsini et al., 1987) est la tâche des blocs de Corsi (Corsi, 1972). Dans cette tâche, les enfants doivent réaliser un rappel immédiat dans l'ordre de localisations préalablement pointées par le clinicien, à raison de une par seconde, sur un plateau comportant neuf cubes en 3D. Un avantage de cette tâche est la présentation séquentielle des localisations, permettant une comparaison plus directe avec le versant verbal, largement évalué de cette façon dû à la séquentialité inhérente au langage. Il sera important de la contraster avec une tâche portant sur le maintien des positions spatiales sans composante sérielle comme le *Test des patterns*, accessible et normé dans la batterie CMS à partir de 5 ans. Dans ce test, une grille de points, avec un nombre de plus en plus important de points, est montrée à l'enfant pendant 5 secondes et ensuite, l'enfant doit reproduire à l'aide de jetons, le pattern de points vu précédemment. Cependant, pour une interprétation adéquate des résultats à ces tâches, il est essentiel de s'assurer de la qualité des représentations visuo-spatiales via des tâches d'identification d'objet ou de représentation spatiale.

Chez des enfants plus jeunes (dès l'âge de 2;9 ans), les batteries WISC V et WPPSI IV (Wechsler, 2014b) proposent une tâche de *Reconnaissance d'images* dans laquelle l'enfant, après une brève présentation d'une série d'images (3 à 5 secondes) doit déterminer quelles images faisaient partie de celles encodées préalablement. Alors que chez les jeunes enfants, la WPPSI IV ne tient pas compte de l'ordre, chez les plus grands, la WISC V y accorde de l'importance en attribuant un point supplémentaire pour l'exactitude de l'ordre de la série. Même si cette tâche a l'avantage d'être plus écologique, son caractère purement visuo-spatial est très discutable dans la mesure où les enfants pourraient verbaliser les images afin de supporter et de faciliter leur maintien par les connaissances sémantiques à long-terme. La tâche de *Reconnaissance d'un pattern de couleur*, dans laquelle l'enfant doit déterminer si un ensemble de carrés disposés aléatoirement et de couleurs différentes est identique ou différent d'un autre ensemble proposé directement après (Riggs et al., 2006), a l'avantage de limiter l'utilisation de stratégies de verbalisation dû à une présentation très rapide des stimuli.

La KABC – II propose également une tâche intéressante pour des enfants plus jeunes (à partir de 3 ans) qui non seulement maximise le maintien de l'ordre mais aussi minimise le maintien de l'information spatiale en évaluant la reproduction de gestes. Dans cette tâche l'enfant doit reproduire des séquences de 2 à 7 gestes dans des ordres différents. Cette tâche est donc très intéressante à utiliser chez le jeune enfant sans langage, avec des retards de langage ou encore pour s'assurer que le traitement de l'ordre et de reproduction de séquence n'est pas altéré que dans le domaine langagier. Enfin, la tâche de *Mémoire spatiale* (WPPSI IV), où l'enfant doit déterminer dans quel enclos un ou plusieurs animaux se trouvaient, apporte également des informations intéressantes. La difficulté croissante porte à la fois sur le nombre d'animaux à retenir mais aussi le nombre d'enclos. Même si cette tâche ne dissocie pas le traitement de l'ordre et de l'item, ni dans l'administration ni dans la cotation, elle permet une analyse qualitative de ces aspects et surtout des normes dès le plus jeune âge (2;5 ans). Par

ailleurs, le maintien d'autres types d'information peut également être évalué et renseigner sur la nature du déficit, via le test de *Mémoire des figures*, présentant des figures abstraites, ou encore des visages de la NEPSY II, normés dès l'âge de 5 ans.

2. Evaluation approfondie de la composante stockage de la MdT verbale

Une fois le déficit objectivé, il est essentiel, comme dans toute démarche d'évaluation cognitive, de comprendre la nature du déficit afin de cibler au mieux la rééducation du ou des troubles. Ce déficit peut toucher un ou plusieurs composants intervenant dans le stockage temporaire de l'information verbale tels que le traitement « item », correspondant à l'activation temporaire des représentations langagières à long-terme, le traitement de l'ordre sériel, correspondant au maintien temporaire des informations sur l'ordre des événements en mémoire ou encore le traitement attentionnel, nécessaire au maintien actif temporaire des informations pertinentes en mémoire.

2.1. Evaluation de la mémoire de l'ordre

Même si la nature des codes utilisés et le caractère amodal ou non du traitement de l'ordre sériel en MdT est encore largement discuté (voir Majerus & Attout, 2018 pour une discussion) tous s'accordent à considérer l'aspect d'ordre sériel comme essentiel au maintien temporaire des informations en mémoire (voir pour revue, Majerus, 2019). D'ailleurs, de nombreuses études antérieures ont démontré l'importance du traitement de l'ordre sériel dans le développement du langage oral, écrit mais aussi dans le développement des habiletés mathématiques (e.g. Attout et al., 2014, 2020; Ordonez Magro et al., 2018, 2020). Cet aspect semble donc crucial à évaluer et ce, surtout suite à une plainte davantage liée à l'apparition de difficultés scolaires.

L'évaluation de la mémoire de l'ordre peut se réaliser dans un premier temps au niveau qualitatif à l'aide d'un calcul séparé des erreurs dans une tâche classique de rappel sériel immédiat. Les erreurs de type ordre, appelées aussi transpositions, reflètent un rappel adéquat

des items contenus dans la liste mais dans des positions sérielles erronées. Une autre approche est d'évaluer de façon spécifique le maintien temporaire de l'ordre sériel en mémoire en administrant des tâches de reconstruction ou de reconnaissance. Les épreuves de reconstruction permettent de maximiser le maintien de l'information d'ordre sériel non seulement parce qu'elles utilisent du matériel verbal très connu (chiffres ou noms d'animaux) mais aussi parce que le participant ne doit pas rappeler le mot en tant que tel mais bien reconstruire la séquence en ayant à disposition les items. Il existe pour les enfants une tâche de reconstruction de listes composées de mots très fréquents et très imageables, la *Course des animaux* (Majerus, 2011). Dans cette tâche, l'enfant, après avoir entendu une liste de 2 à 7 noms d'animaux à l'oral, doit reconstruire la séquence dans le bon ordre à l'aide de cartons correspondant chacun à un item de la séquence entendue et présentés sous forme imagée. Cette tâche a l'avantage de pouvoir être très facilement comprise par des enfants en bas âge (dès l'âge de 4 ans) alors que le concept de l'ordre prend du temps à être compris. Une épreuve du même type mais utilisant des chiffres peut être administrée pour des enfants plus grands (à partir de 6-7 ans, Majerus, 2011). Les tâches de *Reconnaissance de l'ordre sériel* consistent à juger si une série de mots ou de non-mots d'une longueur un peu plus élevée que l'empan du participant est la même que celle qui vient d'être encodée, sachant que lorsqu'elle est différente, la position de deux items a été inversée. Cependant, ces tâches n'existent actuellement qu'à titre expérimental (Attout et al., 2019; Majerus et al., 2010, 2006; Martinez Perez et al., 2012).

2.2. *Evaluation de la mémoire de l'item*

Comme développé précédemment, de nombreuses études mettent en évidence un lien étroit entre les connaissances langagières à long-terme et les capacités de stockage de celles-ci. Un exemple typique est l'effet de lexicalité en MdT, qui se caractérise par de meilleures performances de rappel d'une liste de mots que de non-mots. Une épreuve de *rappel sériel immédiat de mots et non-mots* peut être administrée (actuellement normée uniquement chez

l'adulte par Majerus, 2011) afin de s'assurer d'un support adéquat des capacités lexico-sémantique pour la MdT. Il est évident qu'il est nécessaire de s'assurer du bon développement langagier de l'enfant et d'une connaissance lexico-sémantique adéquate (tout du moins, des mots de cette tâche). Une analyse de cet effet peut déjà amener à suspecter la présence d'un déficit au niveau du traitement item en MdT : soit l'effet est absent, reflétant une chute globale des performances ne pouvant pas être attribué au stockage de l'information item, soit l'effet est exacerbé, avec une chute des performances spécifiquement dans le rappel de non-mots, suggérant un déficit plus spécifique dans l'activation des représentations phonologiques. Si ce type de tâche s'avère difficile pour des enfants plus jeunes, un *empan de rime* et un *empan de catégorie* peuvent être proposés. Dans ces tâches, l'enfant doit simplement dire si un mot présenté à la suite de la série à maintenir, rime/se trouve dans la même catégorie ou non. Ces tâches, à mi-chemin entre l'empan et la reconnaissance, sont facilement administrables à des enfants plus jeunes et peuvent être contrastées entre elles pour avérer un déficit spécifique à un domaine langagier, les rimes reflétant un déficit phonologiques et les catégories, un déficit sémantique. Les normes sont disponibles à partir de 7 ans. L'évaluation de la mémoire de l'item peut également se réaliser au niveau qualitatif à l'aide d'un calcul séparé des erreurs dans une tâche classique de *rappel sériel immédiat*. Les erreurs item, correspondant à un mot rappelé à la place d'un autre, peuvent être de différentes natures, des omissions, des intrusions, une erreur phonologique (« doigt » à la place de « chat ») ou encore une erreur sémantique (« tigre » à la place de « chat »).

Une analyse plus spécifique des deux réseaux langagiers, lexico-sémantique et phonologique peut donc être conduite en fonction du profil de l'enfant. Pour le système phonologique, l'évaluation de la présence d'un effet de fréquence phonotactique est intéressante, se traduisant par de meilleures performances dans une tâche de rappel de non-mots possédant des combinaisons de phonèmes fréquemment observés dans la langue (e.g., *taripo*,

fréquence phonotactique élevée) par rapport à des non-mots constitués de combinaisons de phonèmes peu fréquents dans la langue (e.g., *tilufo*, de fréquence phonotactique faible). Il n'existe pas de tâche normée actuellement mais une tâche pour adulte a été construite et normée (Majerus, 2011) et les bases de données actuelles telles que Lexique (New et al., 2004) permettent aisément de construire ce type de listes pour une analyse qualitative. L'effet de similarité phonologique, correspondant au fait que des mots similaires phonologiquement seraient moins bien rappelés que des mots phonologiquement dissimilaires (e.g., « doigt, roi, noix » vs. « doigt, lit, poux »), peut également être testé via la tâche de *rappel sériel immédiat de mots phonologiquement similaires vs. dissimilaires* (normée à partir de 6 ans, Majerus, 2011). Enfin, une épreuve un peu différente pour évaluer l'intégrité des activations temporaires phonologiques est la tâche de répétition différée de non-mots (*Tâche du château*, Majerus, 2011). Cette tâche est relativement pure, dans le sens où elle propose des non-mots très courts et de structure syntaxique relativement simple (consonne-voyelle-consonne), donc peu influencée par la mémoire de l'ordre. Dans cette tâche, administrable chez des enfants dès l'âge de 4 ans, les enfants doivent répéter un non-mot après un délai de 3 secondes durant lequel ils doivent répéter une même syllabe plusieurs fois (bla). Une adaptation pour des enfants plus âgés est possible en proposant un comptage par 2 et un délai de maintien allongé (6 secondes) à partir de 8 ans puis un comptage à rebours pour les adultes.

Au sein du système lexico-sémantique, différents effets peuvent être analysés, à savoir l'effet de concrétude, illustré par un meilleur rappel de mots concrets tels que « table » que de mots abstraits tels que « rêve », ou encore l'effet de fréquence lexicale, les mots très fréquents comme « panda » étant mieux rappelés que des mots moins fréquents tel que « iguane ». Une tâche de *rappel sériel immédiat de mots concrets vs. abstraits* est également proposée en libre accès et avec des normes à partir de 6 ans (Majerus, 2011).

3. Evaluer la composante manipulation de la MdT

Alors que toutes les tâches présentées jusqu'ici permettent de mesurer les capacités de stockage, les capacités de manipulation de l'information stockée en MdT sont également essentielles, même si celles-ci dépendent davantage d'autres aspects plus exécutifs. Différents types de tâches permettent d'évaluer la manipulation des informations stockées temporairement à court-terme. Les plus classiques sont les tâches d'empan complexe, dans lesquelles le participant est amené à maintenir temporairement une série d'informations dans l'ordre pendant qu'il réalise une tâche secondaire, donc tout en résistant à une interférence (e.g., dénombrer à haute voix un ensemble de cibles). L'activité de traitement concurrente est supposée limiter la mise en œuvre de stratégies mnésiques telles que regrouper l'information (chunks) ou rafraîchir activement les informations stockées. L'utilisation de telles stratégies mnésiques pourrait réduire la demande de la tâche et conduire à une surestimation de la capacité de la MdT de l'individu (Conway et al., 2005). Les tâches d'empan de transformation consistent pour leur part à stocker temporairement de l'information qu'il faudra ensuite transformer avant l'étape de restitution. Contrairement aux tâches d'empan complexe, ces tâches autorisent la mise en œuvre de stratégies mnésiques et peuvent donc conduire à surestimer la capacité mnésique des individus (Delaloye et al., 2008). Enfin, les tâches de mise à jour sont des tâches de MdT plus dynamiques dans lesquelles l'individu est soumis à un flux d'informations qu'il va devoir maintenir et traiter temporairement mais également constamment actualiser en écartant au fur et à mesure les items qui sont devenus non pertinents pour mener à bien la tâche. Ainsi, tout comme les tâches d'empan, les tâches de mise à jour impliquent un traitement et un stockage concomitant. Toutefois, elles sont une catégorie à part de tâche de MdT car elles ne mesurent pas une capacité en termes de nombre d'éléments que l'on peut stocker et manipuler. Elles mettent en jeu une plus grande diversité de processus et sont généralement plus consommatrices en ressources exécutives que les tâches d'empan. Bien que toutes les tâches de MdT, y compris celles plus spécifiquement dédiées à l'estimation de la composante de stockage, sollicitent les

ressources exécutives pour traiter l'information, elles le font de façon plus ou moins importante et surtout plus ou moins explicites/externes.

Même si ces différentes tâches ne conduisent que difficilement à cibler la difficulté de l'enfant de par leur caractère multidéterminé, elles permettent une bonne estimation des capacités de MdT dans des contextes se rapprochant davantage de la vie quotidienne et des apprentissages scolaires. Cependant, elles sont souvent difficiles pour les enfants et dès lors sont rarement normées avant l'âge de 7 ans.

3.1. Les tâches d'empan

Les tâches d'empan de transformation les plus classiquement utilisées sont les épreuves d'*empan de chiffres envers et ordre croissant* de la WISC V. Elles consistent à mémoriser des séries de chiffres de longueur croissante (de 2 à 10 chiffres) puis à les rappeler dans l'ordre inverse ou dans l'ordre numérique croissant. Dans le sous-test *séquence lettres chiffres*, des séries composées de lettres et de chiffres mélangés sont proposées à la mémorisation. L'enfant doit ensuite rappeler les chiffres en les classant par ordre numérique croissant puis les lettres dans l'ordre alphabétique. Dans la même veine, Noël (2009) a imaginé la tâche d'*empan de catégorie* destinée à des enfants de 4 à 6 ans comportant des listes avec des noms d'animaux et des aliments. Cette tâche présente l'avantage d'être utilisable chez des enfants ne maîtrisant pas encore les lettres et les chiffres et est très facile à comprendre pour les enfants en raison de l'introduction d'un support imagée (une assiette pour la restitution des aliments et une forêt pour celle des animaux).

En ce qui concerne les tâches d'empan complexe, dans les domaines verbal et numérique, un premier outil, ACCES (Adaptative Composite Complex Span, Gonthier et al., 2018) propose en accès libre deux épreuves validées auprès d'enfants de 8 à 13 ans : l'*empan de lecture* et l'*empan opération*. Ces épreuves informatisées sont des adaptations des versions développées par Engle et collaborateurs (Redick et al., 2012; Unsworth et al., 2005). L'*empan de lecture*

consiste à mémoriser des séries de chiffres qu'il faudra ensuite reconstruire dans l'ordre tout en réalisant une activité concurrente de lecture et de jugement de la véracité de phrases (e.g., les girafes sont très petites, Vrai ou Faux), l'activité concurrente de lecture et de jugement prenant place entre l'encodage de chacun des chiffres. *L'empan opération* suit le même principe, elle consiste à mémoriser une série de lettres tout en vérifiant le résultat d'additions simples (e.g., $4+3=6$, Vrai ou Faux). L'originalité d'ACCES tient à la façon dont se déroulent les tâches de MdT : elles soumettent tous les enfants au même nombre d'items (6 essais) sachant que la difficulté de la tâche sera adaptée à la performance des enfants, diminuant ainsi les niveaux de fatigue et d'interférence proactive (i.e., inhibition des informations précédemment mémorisées). La procédure est dite adaptative, la difficulté de la tâche est augmentée en cas de réussite et diminuée en cas d'échec. Cependant, elles s'adressent uniquement à des enfants capables de lire ou de réaliser des calculs arithmétiques simples. La *MTVE* (Mémoire de Travail Verbale chez l'Enfant), épreuve très semblable à *l'empan de lecture*, ne nécessite pas de savoir lire (Seigneuric et al., 2008). Elle consiste en une adaptation de *l'empan d'écoute* initialement conçue par Siegel et Ryan (1989). Des séries de phrases dont le dernier mot est manquant sont lues à l'enfant qui doit produire oralement le mot manquant après chaque phrase entendue et le mémoriser en vue d'un rappel dans l'ordre. Elle est réalisée avec une progression dans le niveau de difficulté au regard de la réussite des enfants. Cette épreuve a été proposée à 133 enfants de 8 à 10 ans. Elle n'a malheureusement jamais été validée auprès d'enfants francophones d'âge préscolaire, avant l'acquisition de la lecture, même si cela serait tout à fait envisageable.

Parmi les tâches d'empan complexe classiquement citées dans la littérature et davantage adaptées aux enfants d'âge préscolaire, on trouve *l'empan de comptage* (*counting span*, Case et al., 1982; voir Barrouillet & Camos, 2001 pour une version similaire). Une série de planches sur lesquelles figurent des éléments cibles et des distracteurs sont présentées aux enfants qui doivent dénombrer à haute voix les cibles et mémoriser le total avant de passer à la planche

suivante. Lorsque toutes les planches ont été présentées, il est demandé à l'enfant de rappeler les différents totaux dans l'ordre. Cette tâche figure dans la batterie de MdT développée par Pickering et Gathercole en 2001 (*Working Memory Test Battery for Children*, WMTB-C) mais également en version informatique développée par Alloway (2007) (*Automated Working Memory Assessment*, AWMA). Toutefois, elle est encore indisponible pour une population pédiatrique francophone.

En ce qui concerne le domaine visuo-spatial, il est possible d'utiliser l'*empan symétrie* que l'on trouve dans ACCES. Il est demandé à l'enfant de mémoriser l'emplacement de cases rouges sur une matrice 4X4 cases qu'il devra ensuite rappeler dans l'ordre tout en jugeant de la symétrie d'une série de figures, l'activité de jugement prenant place entre l'encodage de chaque case rouge. Enfin, la tâche d'*empan comparaison/localisation* (*odd one out task*, Russell, Jarrold & Henry, 1996) est une des rares tâches d'empan complexe interrogeant le domaine visuo-spatial dès 4/5 ans. Des séries de triades de figures sans signification sont proposées à l'enfant qui doit désigner l'intrus de chaque triade (i.e., la figure qui est différente des deux autres) et se souvenir de sa localisation pour un rappel ultérieur de l'emplacement de tous les intrus identifiés dans l'ordre de présentation. Cette tâche n'a malheureusement jamais été normée chez les enfants francophones.

Enfin, la batterie FÉE (Fonctions Exécutives de l'Enfant, Roy, Fournet, Le Gall & Roulin, 2020) propose une *double tâche* dans laquelle les enfants se doivent de mémoriser une série de chiffres dont la longueur est fixe et adaptée à leur empan pendant qu'ils détectent et barrent des têtes de clowns. Même si cette tâche ne relève pas exactement de la catégorie des tâches d'empan puisque non adaptative, elle permet l'évaluation des capacités de MdT en situation d'interférence et est normée chez des enfants français dès 6 ans, autorisant l'objectivation d'un déficit de MdT dès l'entrée à l'école primaire.

3.2. Les tâches de mises à jour

Les tâches de mise à jour regroupent un ensemble de tâches dont la tâche de *running span*. Une liste de longueur inconnue est séquentiellement présentée à l'individu qui se doit de rappeler dans l'ordre les n derniers items. Celui-ci est donc amené à maintenir actifs n items en mémoire et est tenu de continuellement écarter les items les plus anciens dès que le maintien excède n items. La batterie FÉE propose deux tâches de *running span*, normées dès 6 ans, l'une verbale, avec des lettres et l'autre visuo-spatiale, avec des localisations dans l'espace.

Les tâches de type *n-back* évaluent également la fonction de mise à jour de la MdT mais elle présente l'avantage de minimiser l'impact du rappel puisqu'il s'agit de tâches de reconnaissance. Dans ces tâches, les individus sont soumis à la présentation séquentielle d'une liste d'items qui peuvent être de nature verbale ou visuo-spatiale. Il leur est alors demandé de juger si chaque item de la liste est identique à l'item qui a été présenté n positions avant. Ainsi par exemple, dans une tâche 2-back, l'individu doit en permanence maintenir les 2 derniers items de la liste, actualiser l'information maintenue à chaque nouvel item présenté et écarter de son stockage l'item le moins récent. La batterie informatisée TAP 2.3.1. (Tests d'Evaluation de l'Attention) de Zimmerman et Fimm (2017) propose une tâche verbale de *n-back*, normée à partir de 11 ans, dans laquelle une série de chiffres est présentée sur l'écran de l'ordinateur au participant qui doit décider si chaque chiffre est identique à celui qui précède (1-back) ou à l'avant-dernier (2-back). Pour les enfants plus jeunes (5 ans), une tâche expérimentale, *la tâche des chaises musicales* (Honoré & Noël, 2017), suit le même principe mais avec la présentation d'animaux se déplaçant progressivement d'une chaise à l'autre (2-back). Elle est ludique et sa compréhension est facilitée par la présence des différents animaux qui se déplacent concrètement sous les yeux de l'enfant.

4. Appréhender un dysfonctionnement de la MdT au niveau comportemental

D'un point de vue clinique, la performance dans les épreuves présentées s'avère généralement un indicateur fiable d'une faiblesse dans la capacité de la MdT. Toutefois, des

enfants présentant un certain niveau de dysfonctionnement dans leur quotidien (enfants distraits ou désorganisés à l'école comme à la maison) peuvent ne pas présenter de déficit avéré dans les épreuves de MdT administrées, un décalage pouvant ainsi s'observer entre les performances aux tâches et l'impact sur les activités quotidiennes. Ainsi, il semble important dans la pratique clinique qu'en complément des épreuves basées sur la performance, les parents et enseignants puissent faire part des difficultés rencontrées par l'enfant au quotidien.

Du point de vue comportemental, les enfants souffrant d'un déficit de la MdT sont généralement jugés par les enseignants comme ayant un empan attentionnel faible et un haut niveau de distractibilité mais à la différence des enfants TDAH, la composante impulsivité/hyperactivité est généralement absente du tableau clinique (Alloway et al., 2009; Aronen et al., 2005). Ces enfants présentent des difficultés pour suivre des consignes. Ils parviennent difficilement à se souvenir des différentes étapes de l'activité dans laquelle ils sont engagés et donc, à se situer dans cette activité ce qui les conduit souvent à abandonner ou à poursuivre de façon erronée (Gathercole & Alloway, 2008). Dès lors, en milieu scolaire, une attention particulière doit être portée à une progression ralentie des apprentissages, des difficultés à suivre des consignes plus longues, des difficultés dans la compréhension en lecture non liées au déchiffrage, des difficultés à appliquer des procédures apprises, ou encore à résoudre des problèmes. Bien évidemment, les parents sont également en première ligne et sont à même de pouvoir observer des comportements de type « oubli réguliers d'objets », « oubli des consignes », « non compréhension des consignes plus longues ». Il est dès lors essentiel de sensibiliser les parents comme les enseignants à ce type de difficultés.

Différents questionnaires sont aujourd'hui à disposition des cliniciens et des enseignants pour appréhender des difficultés de MdT d'un point de vue comportemental. Ces questionnaires n'interrogent pas spécifiquement la MdT mais couvrent des domaines plus larges tels que la mémoire (Q-MEM, Geurten et al., 2016) ou les fonctions exécutives (BRIEF, Roy et al., 2014

et CHEXI, Thorell & Catale, 2014). Tous proposent entre 7 et 10 items comportementaux se rapportant à la MdT (e.g., *Quand 3 choses sont à faire, il/elle ne se souvient que la dernière ou que de la première* pour la BRIEF; *Présente des difficultés pour retenir des consignes assez longues* pour la CHEXI; *Repose les mêmes questions plusieurs fois* pour la Q-MEM). Le répondant se doit d'évaluer dans quelle mesure les comportements indiqués caractérisent l'enfant concerné à partir d'une échelle de Likert (de jamais à souvent). Le choix de l'outil pourra s'opérer au vu de l'âge de l'enfant. La CHEXI est utilisable dès 4 ans alors que la BRIEF ou la Q-MEM ont été étalonnés à partir de 5 ans. Au-delà de 12 ans, seule la BRIEF sera pertinente et cela jusqu'à 18 ans. Il s'agira également de considérer la nature de la plainte (mnésique ou témoignant davantage d'un déficit exécutif), la personne à l'origine de la plainte (enseignant ou parents; la Q-MEM étant uniquement destinée aux parents) et enfin le temps disponible pour le répondant (la CHEXI comportant moins d'items que la BRIEF; 24 items vs. 86).

Même si ces questionnaires capturent certains des problèmes rencontrés par les enfants présentant un dysfonctionnement de la MdT, ils ne capturent pas l'entière du profil comportemental de ces enfants. Le seul outil qui s'avèrerait complet aujourd'hui a été développé par Alloway, Gathercole et Kirkwood en 2008. Le *Working Memory Rating Scale* (WMRS) vise à être complété par les enseignants. Toutefois, il n'a malheureusement pas encore été adapté et validé en langue française.

5. Conclusion

Dans cet article, nous voulions donner un aperçu des outils existants pour conduire une évaluation de la MdT la plus complète possible. La MdT est non seulement au cœur de nombreuses autres fonctions cognitives (langage, mémoire à long-terme, capacités visuo-spatiales) mais joue également un rôle crucial dans de nombreux apprentissages chez l'enfant (langage oral, écrit, mathématiques), la pointant dès lors comme une fonction essentielle au bon

développement cognitif. L'évaluation est une étape primordiale dans la prise en charge afin de cibler le(s) déficit(s). Même si à l'heure actuelle de nombreuses études échouent à proposer une prise en charge efficace et montrent des effets inconsistants et limités avec peu ou pas d'effet de transfert sur d'autres mesures, la plupart de ces études s'appuient sur une prise en charge assez généraliste via l'exposition répétée à une tâche (*drill*) (Melby-Lervåg & Hulme, 2013). Or, les entraînements portant plus spécifiquement sur la mise en place de stratégies de maintien ou des mécanismes spécifiques semblent davantage prometteurs (Closset & Majerus, 2007; St Clair-Thompson et al., 2010). Dès lors, il est essentiel de pouvoir identifier le(s) déficit(s) pour proposer ensuite une prise en charge ciblant la nature de ce(s) déficit(s), augmentant ainsi les chances d'observer des effets de transfert (Norris et al., 2019). Evidemment, des éclairages théoriques quant à la nature des différents aspects de la MdT, comme l'implication des capacités attentionnelles ou encore la nature du traitement de l'ordre sériel sont encore nécessaires pour optimiser d'une part l'évaluation mais aussi la prise en charge de ces aspects. Une évaluation complète passera donc d'abord par une objectivation de la plainte émanant de l'enfant, des parents ou du milieu scolaire, une compréhension de la nature des déficits (touchant la mémoire de l'ordre, de l'item, à quel niveau langagier, la mise à jour, le maintien de l'information lors d'une tâche interférente ou encore la manipulation d'informations stockées à court-terme) et enfin une quantification de l'impact de ces difficultés dans la vie quotidienne et ses répercussions sur les apprentissages. Cette identification est également précieuse pour prévenir l'effet boule de neige entraîné par des difficultés en MdT chez l'enfant et permet également la mise en place d'adaptations scolaires ou dans la vie quotidienne.

Références

Alloway, T. P. (2007). Automated Working Memory Assessment. London: Pearson Assessment.

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Kirkwood, H. J. (2008). Working Memory Rating Scale. London: Pearson Assessment.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliott, J. (2009). The cognitive and behavioral characteristics of children with low working memory. *Child Development*, 80(2), 606-621.
- Aronen, E. T., Vuontela, V., Steenari, M. R., Salmi, J., & Carlson, S. (2005). Working memory, psychiatric symptoms, and academic performance at school. *Neurobiology of Learning and Memory*, 83(1), 33-42.
- Attout, L., Grégoire, C., & Majerus, S. (2020). How robust is the link between working memory for serial order and lexical skills in children? *Cognitive Development*, 53, 100854.
- Attout, L., & Majerus, S. (2014). Working memory deficits in developmental dyscalculia: The importance of serial order. *Child Neuropsychology*, 21(4), 432–450.
- Attout, L., Noël, M., & Majerus, S. (2014). The relationship between working memory for serial order and numerical development: a longitudinal study. *Developmental Psychology*, 50, 1667–1679.
- Attout, L., Ordonez Magro, L., Szmalec, A., & Majerus, S. (2019). The developmental neural substrates of item and serial order components of verbal working memory. *Human Brain Mapping*, 40(5), 1541–1553.
- Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), 234–238.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2001). Developmental increase in working memory span: Resource sharing or temporal decay? *Journal of Memory and Language*, 45(1), 1-20.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386–404.
- Closset, A., & Majerus, S. (2007). Rééducation de la mémoire phonologique à court terme: application chez une enfant de 10 ans. In G. Aubin, F. Coyette, P. Pradat-Dielh, & C. Vallat-Azouvi (Eds.), *Neuropsychologie de la mémoire de travail* (pp. 323–349). Marseille: Solal.
- Cohen, M. J. (2001). *CMS : Echelle de mémoire pour enfants*. Paris: Solal.
- Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (1994). Working Memory and Retrieval: A Resource-Dependent Inhibition Model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 354–373.
- Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786.
- Corsi, P. (1972). Memory and the medial temporal region of the brain. *Unpublished doctoral dissertation*. McGill University, Montreal, QB.

- Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1158–1170.
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K., Verschaffel, L., Boets, B., & Ghesquière, P. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 186-201.
- Delaloye, C., Ludwig, C., Borella, E., Chicherio, C., & De Ribaupierre, A. (2008). L'Empan de lecture comme épreuve mesurant la capacité de mémoire de travail: normes basées sur une population francophone de 775 adultes jeunes et âgés. *European Review of Applied Psychology*, 58(2), 89-103.
- Farrell Pagulayan, K., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. A., & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-tapping task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(6), 1043-1052.
- Gathercole, S., & Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. Sage.
- Geurten, M., Majerus, S., Lejeune, C., & Catale, C. (2018). Questionnaire of Memory (Q-MEM): A new measure of everyday memory functioning in school-age children. *Applied Neuropsychology: Child*, 7(1), 44-51.
- Gonthier, C., Aubry, A., & Bourdin, B. (2018). Measuring working memory capacity in children using adaptive tasks: Example validation of an adaptive complex span. *Behavior Research Methods*, 50(3), 910-921.
- Henson, R. N. A. (1998). Short-Term Memory for Serial Order: The Start-End Model. *Cognitive Psychology*, 36(2), 73–137.
- Honoré, N., & Noël, M. P. (2017). Can working memory training improve preschoolers' numerical abilities? *Journal of Numerical Cognition*, 3, 516-539.
- 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.
- Hutton, U. M., & Towse, J. N. (2001). Short-term memory and working memory as indices of children's cognitive skills. *Memory*, 9(4-6), 383-394.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. (2008). *Kaufman assessment battery for children: 2nd*. Circle Pined, MN: American Guidance Service.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *NEPSY-II: seconde édition*. Pearson.
- Majerus, S. (2011). Tâches d'évaluation de la MdT en accès libre. Retrieved from https://www.psycog.uliege.be/cms/c_5469095/fr/psyncog-tests-et-outils-mis-a-disposition
- Majerus, S. (2013). Language repetition and short-term memory: an integrative framework.

Frontiers in Human Neuroscience, 7(July), 357.

- Majerus, S. (2019). Verbal working memory and the phonological buffer: The question of serial order. *Cortex*, 112, 122–133.
- Majerus, S., & Attout, L. (2018). Working Memory for Serial Order and Numerical Cognition: What Kind of Association? In A. Henik & W. Fias (Eds.), *Heterogeneity of function in numerical cognition* (p. 409–431). Elsevier Academic Press.
- Majerus, S., D'Argembeau, A., Martinez Perez, T., Belayachi, S., Van der Linden, M., Collette, F., ... Maquet, P. (2010). The commonality of neural networks for verbal and visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(11), 2570–2593.
- Majerus, S., Poncelet, M., Van der Linden, M., Albouy, G., Salmon, E., Sterpenich, V., ... Maquet, P. (2006). The left intraparietal sulcus and verbal short-term memory: Focus of attention or serial order? *NeuroImage*, 32(2), 880–891.
- Martin, N., Saffran, E. M., & Dell, G. S. (1996). Recovery in Deep Dysphasia: Evidence for a Relation between Auditory-Verbal STM Capacity and Lexical Errors in Repetition. *Brain and Language*, 52(1), 83–113.
- Martin, R. C., Lesch, M. F., & Bartha, M. C. (1999). Independence of input and output phonology in word processing and short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 41(1), 3–29.
- Martinez Perez, T., Majerus, S., Mahot, A., & Poncelet, M. (2012). Evidence for a specific impairment of serial order short-term memory in dyslexic children. *Dyslexia*, 18(2), 94–109.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270–291.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). Toward unified theories of working memory: Emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 442–482).
- Morrison, A. B., Rosenbaum, G. M., Fair, D., & Chein, J. M. (2016). Variation in strategy use across measures of verbal working memory. *Memory & Cognition*, 44(6), 922–936.
- Nevo, E., & Breznitz, Z. (2011). Assessment of working memory components at 6 years of age as predictors of reading achievements a year later. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(1), 73–90.
- New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: A new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36, 516–524.
- Noël, M. P. (2009). Counting on working memory when learning to count and to add: A preschool study. *Developmental Psychology*, 45(6), 1630–1643.
- Norris, D. G., Hall, J., & Gathercole, S. E. (2019). Can short-term memory be trained? *Memory*

- and *Cognition*, 47(5), 1012–1023.
- Oberauer, K. (2009). Design for a Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 51, 45–100.
- Ordonez Magro, L., Attout, L., Majerus, S., & Szmalec, A. (2018). Short-and long-term memory determinants of novel word form learning. *Cognitive Development*, 47, 146–157.
- Ordonez Magro, L., Majerus, S., Attout, L., Poncelet, M., Smalle, E. H. M., & Szmalec, A. (2020). The contribution of serial order short-term memory and long-term learning to reading acquisition: A longitudinal study. *Developmental Psychology*, 56(9), 1671–1683.
- Orsini, A., Grossi, D., Capitani, E., Laiacona, M., Papagno, C., & Vallar, G. (1987). Verbal and spatial immediate memory span: normative data from 1355 adults and 1112 children. *The Italian Journal of Neurological Sciences*, 8(6), 537–548.
- Pickering, S., & Gathercole, S. E. (2001). *Working memory test battery for children (WMTB-C)*. Psychological Corporation.
- Poloczek, S., Henry, L. A., Messer, D. J., & Büttner, G. (2019). Do children use different forms of verbal rehearsal in serial picture recall tasks? A multi-method study. *Memory*, 27(6), 758–771.
- Poncelet, M., & Van der Linden, M. (2003). L'évaluation du stock phonologique de la mémoire de travail: élaboration d'une épreuve de répétition de non-mots pour population francophone. *Revue de Neuropsychologie*, 13(3), 375–405.
- Redick, T. S., Broadway, J. M., Meier, M. E., Kuriakose, P. S., Unsworth, N., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2012). Measuring working memory capacity with automated complex span tasks. *European Journal of Psychological Assessment*, 28, 164–171.
- Riggs, K. J., McTaggart, J., Simpson, A., & Freeman, R. P. (2006). Changes in the capacity of visual working memory in 5-to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(1), 18–26.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2014). *BRIEF : Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives*. Paris : Hogrefe France.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (à paraître, 2020). *La Batterie FÉE (Fonctions exécutives de l'enfant)*. Paris : Hogrefe France.
- Russell, J., Jarrold, C., & Henry, L. (1996). Working memory in children with autism and with moderate learning difficulties. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(6), 673–686.
- Schuchardt, K., Maehler, C., & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with specific learning disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 41(6), 514–523.

- Seigneuric, A., de Guibert, M., Megherbi, H., Potier, D., & Picard, A. (2008). La MTVE: une épreuve de mémoire de travail verbale chez l'enfant adaptée du Listening Span Task de Siegel et Ryan (1989). *L'Année Psychologique*, 108(2), 273-308.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.
- St Clair-Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology*, 30(2), 203–219.
- Thorell, L. B., & Catale, C. (2014). The assessment of executive functioning using the Childhood Executive Functioning Inventory (CHEXI). In *Handbook of executive functioning* (pp. 359-366). Springer, New York, NY.
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, 37(3), 498-505.
- Wechsler, D. (2014a). *Wechsler intelligence scale for children-fifth edition (WISC V)*. Bloomington, MN: Pearson.
- Wechsler, D. (2014b). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Fourth Edition (WPPSI IV)*. Bloomington, MN: Pearson.
- Zimmermann, P., & Fimm, B. (2017). *Test d'évaluation de l'attention, version 2.3.1*. Psytest.

Tableau 1. Synthèse des outils existants pour évaluer la MdT

Nom de la tâche	Références	Âges concernés	Remarque
Stockage : Domaine verbal			
Empan de chiffres endroit	WISC V (Wechsler, 2014)	6 - 16;11 ans	
Répétition de non-mots	Poncelet & Van der Linden, 2003	3 - 12 ans	Accès libre*
Répétition de phrases	NEPSY II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2012)	5 - 6 ans	
Mémoire immédiate de chiffres Suite de mots Mouvements de mains (normée à partir de 4 ans)	KABC - II (Kaufman, Kaufman, 2008)	3 - 12;11 ans	
Rappel sériel immédiat de mots courts phonologiquement similaires et mots courts et longs phonologiquement dissimilaires	Majerus (2011)	6 - 10 ans	Accès libre*
Rappel sériel immédiat de mots fréquents et peu fréquents	Majerus (2011)	6 - 22 ans	Accès libre*
Rappel sériel immédiat de mots avec degré d'imagerie élevé ou faible	Majerus (2011)	6 - 22 ans	Accès libre*
Reconstruction ordre sériel - Course des animaux	Majerus (2011)	4 - 6 ans	Accès libre*
Reconstruction ordre sériel - Chiffres	Majerus (2011)	6 - 9 ans	Accès libre*
Empan de rimes / empan de catégorie	Majerus (2011)	7 - 9 ans	Accès libre*
Répétition différée de non-mots - tâche du château	Majerus (2011)	4 - 10 ans (+ 16 ans et adultes)	Accès libre*
Stockage : Domaine visuo-spatial			
Test des blocs de Corsi	Farrell Pagulayan et al. (2006) Fournier & Albaret (2013)	7 - 14 ans (+ adultes)	A construire
Test des patterns/localisation de points	CMS (Cohen, 2000)	5 -16 ans	
Reconnaissance d'images	WISC V (Wechsler, 2014a)	6 - 16;11 ans	
Reconnaissance d'images Mémoire spatiale	WPPSI IV (Wechsler, 2014b)	2;6 - 7;7 ans	
Mémoire des figures	NEPSY II (Korkman, Kirk, & Kemp, 2012)	5 - 16 ans	
Manipulation de l'information en MdT			
Empan de lecture Empan opération	ACCES (Gonthier et al., 2018)	8 - 13 ans	Accès libre
MTVE (Mémoire de Travail Verbale chez l'Enfant)	Seigneuric et al. (2008)	8 - 10 ans	
Empan de comptage	Barrouillet & Camos (2001) Case, Kurland & Goldberg (1982)	A partir de 5 ans	A construire
Empan symétrie	ACCES (Gonthier et al., 2018)	8 - 13 ans	Accès libre
Empan comparaison/localisation	Russell, Jarrold & Henry (1996)	Dès 4/5 ans	A construire
Empan de chiffres envers Empan de chiffres par ordre croissant Séquence lettres/chiffres	WISC V (Wechsler, 2014)	6 - 16;11 ans	
Empan de catégorie	Noël (2009)	4 - 6 ans	A construire

Double tâche	FÉE (Roy, Fournet, Le Gall & Roulin, 2020)	6;6 à 16;6 ans	
Tâche de <i>running span</i> verbale	FÉE (Roy, Fournet, Le Gall & Roulin, 2020)	6;6 à 16;6 ans	
Tâche de <i>running span</i> visuo-spatiale			
Tâche de <i>n</i> -back	TAP 2.3.1 (Zimmerman & Fimm, 2017)	10 - 18 ans	
Tâche des chaises musicales	Honoré et Noël (2017)	5 ans	A construire
Questionnaires			
CHEXI (The Childhood Executive Function Inventory)	Thorell & Catale (2014)	4-12 ans	
BRIEF (Inventaire d'évaluation comportementale des fonctions exécutives)	Roy, Fournet, Le Gall & Roulin (2014)	5-18 ans	
Q-MEM (Questionnaire of Memory)	Geurten, Majerus, Lejeune & Catale (2016)	5-12 ans	
WMRS (Working Memory Rating Scale)	Alloway, Gathercole & Kirkwood (2008)	5-12 ans	En anglais

* https://www.psyncog.uliege.be/cms/c_5469095/fr/psyncog-tests-et-outils-mis-a-disposition