

Fonctionnement de la mémoire de travail chez des enfants présentant des difficultés scolaires

Résumé

La mémoire de travail ayant un rôle déterminant dans les apprentissages, le but de cette étude est d'évaluer si des enfants de 11 ans ayant des difficultés scolaires nécessitant une prise en charge par un RASED présentent un retard de développement par rapport à leurs pairs de même âge ou s'ils présentent un fonctionnement atypique de la mémoire de travail. Récemment, nous avons montré que les enfants à partir de 7 ans utilisaient un mécanisme de rafraîchissement attentionnel, mis en évidence par l'effet du coût cognitif de la tâche concurrente. Ce mécanisme devient de plus en plus efficace jusqu'à 14 ans, induisant un effet croissant du coût cognitif sur le rappel. Dans cette étude, des enfants suivis en RASED présentent un effet du coût cognitif montrant qu'ils utilisent le mécanisme de rafraîchissement. Néanmoins, leurs capacités de stockage et l'efficacité de leur rafraîchissement attentionnel se rapprochent de celles observées chez des enfants de 8 ans, ce qui correspond à leur âge mental. Ainsi, les enfants en difficulté scolaire présentent un fonctionnement de la mémoire de travail similaire à ceux sans difficulté scolaire mais avec un retard de développement.

Mots-clés

- Mémoire de travail
- Difficultés scolaires
- Retard de développement

Lucie CORBIN

Université de Bourgogne, LEAD – CNRS,
Pôle AAFE, esplanade Erasme, 21000 Dijon, France.

Armelle MOISSENET

Université de Bourgogne, LEAD – CNRS,
Pôle AAFE, esplanade Erasme, 21000 Dijon, France.

Valérie CAMOS

Université de Fribourg, Département de Psychologie,
rue de Faucigny 2, 1700, Fribourg, Suisse.

Summary

In the time-based resource-sharing model (Barrouillet & Camos, 2007b), we have shown that children from 7 used an attentional refreshing mechanism, which becomes increasingly efficient until 14. This development trend leads to an increasing effect of the cognitive load of the concurrent task on recall (Barrouillet et al., 2009). The aim of this study was to evaluate the functioning of working memory in children with learning difficulties through the use of computerized complex span tasks. Using the paradigm developed in the TBRS model, we compared the recall performance of 11-year-old children with learning difficulties with the performance of children exhibiting a typical development. Children with learning difficulties presented an effect of the cognitive load, thus showing that they use the attentional refreshing mechanism. Nevertheless, both their storage capacity and the efficiency of their attentional refreshing were similar to those observed in 8-year-old children, which corresponded to their mental age. Thus, children with learning difficulties show a working memory functioning similar to those without learning difficulties, but with a developmental delay.

Keywords

- Working memory
- Learning difficulties
- Developmental delays

Le fonctionnement de la mémoire de travail (MdT) est une question centrale en psychologie, puisque cette structure est impliquée dans une large variété d'activités cognitives complexes, telles que le raisonnement, la compréhension ou encore la résolution de problèmes (Barrouillet, 1996; Daneman & Carpenter, 1980; Engle, 2002). C'est pourquoi la capacité en MdT est un déterminant majeur de la réussite scolaire (Barrouillet, Camos, Morlaix, & Suchaut, 2008; Lépine, Barrouillet, & Camos, 2005). En effet, pour expliquer des difficultés dans les acquisitions fondamentales, telles que l'apprentissage de nouveaux mots, la lecture ou le comptage, on évoque très souvent des déficits dits généraux de MdT à côté des compétences spécifiques au domaine d'acquisition (Alloway, 2009; Gavens & Camos, 2006; pour une revue, Conway, Jarrold, Kane, Miyake, & Towse, 2008). Ainsi, les capacités de MdT ont été identifiées comme le déterminant majeur des différences individuelles de développement et en particulier dans le domaine des apprentissages scolaires. De plus, l'accroissement avec l'âge des capacités de MdT est conçu comme un des facteurs essentiels du développement cognitif (pour une revue, Barrouillet & Camos, 2007a).

Ainsi, le développement de la MdT, de son fonctionnement et de sa capacité, constitue un aspect primordial du développement cognitif, qui a donné lieu ces dernières années à de nombreuses conceptions théoriques et recherches empiriques. Si le modèle en multicomposantes de Baddeley (1986) reste le plus connu et le plus utilisé, d'autres modèles ont été proposés dans la littérature pour rendre compte du fonctionnement de la MdT (pour une synthèse, Miyake & Shah, 1999). Récemment, Barrouillet et Camos (2007b) ont proposé une nouvelle conception de la MdT dans laquelle l'attention est une ressource commune partagée entre le traitement et le stockage sur une base temporelle. Le modèle de partage temporel des ressources qu'ils proposent (*Time-Based Resource-Sharing model*, *TBRS model*) suppose que le partage des ressources attentionnelles en MdT est réalisé grâce à une alternance rapide et fréquente de l'attention entre le traitement et le maintien afin de réactiver les traces mnésiques qui déclinent et d'empêcher leur complète disparition. Ainsi, le traitement et le maintien requièrent de l'attention qui constitue une ressource limitée. Dès que l'attention est détournée des items à maintenir en mémoire, leur trace mémorielle va décliner avec le temps. Si ces traces sont ramenées dans le focus attentionnel, elles pourront cependant être rafraîchies. Toutefois, le focus attentionnel ne peut être qu'à un seul endroit en même temps. En effet, il existe un goulet d'étranglement au

niveau des processus centraux qui fait qu'un seul traitement peut être effectué à la fois. Sur une base temporelle, l'attention doit donc être partagée et déplacée en permanence entre les traitements et le maintien des traces mnésiques afin de les rafraîchir avant leur complète disparition de la mémoire à court terme. Ce mécanisme d'alternance attentionnelle opère durant les traitements, les sujets mettant à profit des micropauses dans leur activité pour rapidement refocaliser leur attention sur les traces mnésiques à maintenir. Ce nouveau modèle de fonctionnement de la MdT fournit également une nouvelle conception du coût cognitif. La charge cognitive d'une tâche ne serait plus fonction de sa complexité, mais de la proportion de temps durant laquelle elle capture l'attention, empêchant ainsi le rafraîchissement des traces en mémoire. Ainsi, la nouveauté du modèle TBRS est de prédire une relation linéaire entre les rappels et le temps de capture de l'attention par une tâche concurrente.

Ce modèle a été évalué en développant de nouvelles tâches d'empan complexe rythmées par ordinateur dans lesquelles les traitements concurrents peuvent être très simples (e.g., lire des chiffres, des lettres, juger la localisation de carrés), mais dont le décours temporel est strictement contrôlé. Les résultats de plusieurs études empiriques menées avec ce type de tâches ont alors permis d'apporter des évidences en faveur du modèle TBRS (e.g., Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet & Camos, 2007b; Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009). L'évidence la plus déterminante est la relation linéaire entre rappel et temps de capture attentionnelle, puisque jusqu'à ce jour aucun autre modèle de mémoire de travail ne prédit une telle relation (Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011). Concernant plus spécifiquement le développement de la MdT, les études montrent que les empan complexes sont marqués par une importante progression (Barrouillet & Camos, 2007a). Plus récemment, Barrouillet *et al.* (2009) ont montré que le mécanisme d'alternance attentionnelle rapide entre le traitement et le stockage permettant de rafraîchir les traces en mémoire apparaît vers l'âge de 7 ans et gagne en efficacité jusqu'à la fin de l'adolescence. Leurs études menées sur des enfants âgés de 5 à 14 ans montrent que le rôle de ce processus de réactivation sous-tendrait une partie importante des différences de développement de la MdT.

Plus particulièrement, dans leur première expérience, Barrouillet *et al.* (2009) testent sur des enfants âgés de 8 à 14 ans les différences développementales d'efficacité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel au travers de l'effet du

coût cognitif d'une tâche concurrente. Pour cela, ils utilisent une tâche d'empan complexe avec lecture de chiffres dans laquelle les participants doivent mémoriser des séries de lettres entre lesquelles sont présentées des séries de chiffres à lire à un rythme fixe (Figure 1). Les auteurs font varier ce rythme en manipulant à la fois le nombre de chiffres (soit 4, 8 ou 12) et l'intervalle de temps entre les lettres, i.e. le temps total disponible pour lire les chiffres (soit 6 ou 10 secondes). Ils montrent qu'à tout âge, les empan de MdT des enfants sont fonction du coût cognitif de la tâche de lecture de chiffres évalué par le ratio *Nombre de chiffres/Temps*. Ainsi, non seulement chez les adultes, mais aussi chez les enfants à partir de 8 ans, les capacités de MdT sont fonction de la proportion de temps pendant laquelle le traitement occupe l'attention. Par ailleurs, ils montrent que l'effet du rythme de la tâche concurrente est de plus en plus prononcé au fur et à mesure que les enfants vieillissent. Ainsi, les plus jeunes enfants semblent moins capables que leurs pairs plus âgés de profiter des moments de pause où l'attention est rendue disponible parce que le rythme de la tâche concurrente est lent. Ceci suggère que l'efficacité du processus de rafraîchissement attentionnel augmente progressivement d'un état initial où il serait indisponible avant 7 ans, à un niveau de maturité qui n'est pas atteint avant la fin de l'adolescence. Cependant, toutes ces études ont été menées sur des enfants dits « tout-venant », ne présentant aucune difficulté particulière. Nous pouvons alors nous demander ce qu'il en est pour des enfants présentant des difficultés scolaires. En effet, aucune étude n'a étudié le rafraîchissement attentionnel chez les enfants ayant des difficultés scolaires. Ce point est crucial étant donné le rôle central de la MdT dans les apprentissages. Cette étude a donc pour but d'explorer chez des enfants présentant des difficultés scolaires la relation entre leur capacité de mémoire de travail et la capture attentionnelle par une tâche concurrente, en prenant comme point de comparaison les résultats de l'étude de Barrouillet *et al.* (2009) obtenus sur des enfants avec un développement typique. Nous avons testé si les enfants en grande difficulté scolaire présentent un fonctionnement typique mais retardé, i.e. similaire à celui d'enfants « tout-venant » mais plus jeunes, ou s'ils présentent certaines particularités dans le fonctionnement de la mémoire de travail pouvant expliquer leurs difficultés scolaires. Nous nous sommes donc demandés si ces enfants sont affectés de la même façon que leurs pairs au développement typique par des variations du rythme de la tâche concurrente, i.e. de la charge cognitive de la tâche. Au contraire, ces enfants pourraient présenter des particularités de

fonctionnement cognitif qui ne les rendraient pas sensibles aux mêmes contraintes que les enfants au développement typique. Ainsi, si le mécanisme de rafraîchissement attentionnel ne se met pas en place chez ces enfants, leurs performances de rappel ne devraient pas être affectées par le coût cognitif de la tâche concurrente, comme cela a déjà été observé chez des enfants jeunes de 5-6 ans (Camos & Barrouillet, 2011).

Pour essayer d'apporter des réponses à ces questions, nous avons sélectionné un groupe d'enfants présentant des difficultés scolaires avérées au point de bénéficier du soutien d'un RASED. Nous avons préféré effectuer une sélection très stricte des enfants au détriment de la taille de l'échantillon. En effet, bien que la mémoire de travail soit fortement impliquée dans les apprentissages et surtout les apprentissages scolaires, elle ne saurait être considérée comme l'unique cause de difficultés scolaires. Nous avons donc évité d'inclure dans notre échantillon des enfants dont les difficultés scolaires auraient d'autres causes, comme un trouble perceptif, des facteurs socio-affectifs ou un trouble dans un apprentissage spécifique comme dans le cas de la dyslexie. Les enfants que nous avons testés ont été diagnostiqués comme présentant des difficultés scolaires générales. Nous avons fait passer à ces enfants la même tâche de MdT que celle utilisée par Barrouillet *et al.* (2009, Expérience 1). Ainsi, ces enfants ont effectué la tâche d'empan de lecture de chiffres décrite précédemment, dans laquelle les chiffres ont été présentés à deux rythmes différents choisis parmi les quatre rythmes utilisés par Barrouillet *et al.* (2009) afin de ne pas rendre cette tâche trop longue pour ces enfants. Par ailleurs, contrairement aux tâches plus classiques de MdT (e.g., empan de lecture ou d'opérations), cette tâche requiert très peu de connaissances (juste reconnaître les lettres et les chiffres) et elle permet donc une évaluation des capacités de MdT moins polluées par les difficultés d'apprentissages scolaires. En effet, les tâches classiques comme l'empan de lecture peuvent sous-estimer les capacités des enfants ayant des difficultés scolaires parce que la tâche concurrente, ici la lecture, est très difficile pour eux.

Méthode

Participants

Neuf enfants scolarisés dans une école primaire de Dijon en cours moyen deuxième année (sept garçons et deux filles; moyenne âge = 10 ans et 11 mois; écart-type = 4.9 mois) ont participé à cette expérience. Nous avons sélectionné ces enfants

parmi l'ensemble des enfants intégrés dans le réseau d'aides spécialisées aux élèves en difficulté (RASED) de cette école sur plusieurs critères. Tout d'abord, ils présentaient tous de grandes difficultés scolaires au point de bénéficier d'une prise en charge par le RASED. Plus spécifiquement, le bilan psychologique n'a pas diagnostiqué de difficultés spécifiques à un domaine, comme la lecture ou les mathématiques, mais les difficultés sont générales. Ainsi, le bilan évoque un déficit en MdT pour expliquer leurs faibles performances scolaires. Enfin, ces enfants avaient sensiblement le même âge et ils étaient tous scolarisés dans la même classe.

Matériel et Procédure

Tous les participants ont été vus lors de deux sessions individuelles d'environ 20 à 30 minutes chacune. La première session faisait partie d'un bilan psychologique¹ qui s'était déroulé sur plusieurs sessions, et qui incluait une mesure des capacités de MdT des enfants. Cette première séance a permis de sélectionner parmi les enfants du RASED ceux qui participeraient à la seconde session. La seconde session était dédiée à la passation de la tâche d'empan de lecture de chiffres.

Lors de la première séance, les deux subtests constituant l'indice de MdT du WISC-IV (Wechsler, 2005), i.e., « Mémoire des chiffres » et « Séquence lettres – chiffres » ont été administrés aux enfants. Le subtest « Mémoire des chiffres » était constitué de deux parties. Dans la première, il était demandé à l'enfant de mémoriser et de rappeler des listes de chiffres dans l'ordre, alors que dans la seconde partie l'enfant devait les rappeler à l'envers (le dernier chiffre en premier, etc.). Dans les deux cas, les listes de chiffres étaient présentées oralement par l'expérimentatrice à un rythme d'environ un chiffre par seconde. La longueur des listes augmentait au fur et à mesure et la tâche s'arrêtait lorsque l'enfant échouait aux deux essais d'une même longueur. Le score brut de l'enfant était calculé en additionnant le nombre de listes correctement rappelées dans l'ordre ou dans l'ordre inverse selon la condition. La somme des notes brutes obtenues pour chacune des conditions était ensuite convertie en note standard selon les tables de conversion du WISC-IV.

Dans le subtest « Séquence lettres – chiffres », l'expérimentatrice présentait oralement des séquences aléatoires contenant à la fois des lettres et des chiffres que l'enfant devait mémoriser. Au

moment du rappel, l'enfant devait d'abord rappeler les lettres en les reclassant par ordre alphabétique puis les chiffres en les reclassant par ordre croissant. Là encore, la longueur des séquences augmentait au fur et à mesure et la tâche s'arrêtait lorsque l'enfant échouait aux trois essais d'une même longueur. Le nombre total de séquences correctement restituées dans l'ordre permettait d'obtenir le score brut converti ensuite en note standard.

Tous les enfants sélectionnés avaient des notes standardisées qui s'écartaient d'au moins un écart-type de la moyenne. Bien que cette procédure de sélection nous ait conduites à un groupe relativement restreint, elle nous a assuré une grande homogénéité du groupe. Ainsi, un groupe de neuf enfants présentant une moyenne de 6.11 (écart-type = 0.78) au subtest « Mémoire des chiffres » et de 6.44 (écart-type = 1.13) au subtest « Séquence lettres – chiffres » a été sélectionné pour passer la seconde phase de l'étude.

Bien que le test WISC-IV n'ait pas pour vocation une détermination de l'âge mental, il est néanmoins possible à partir des scores et des tables de conversion proposées dans le WISC-IV d'évaluer l'âge mental des enfants. L'âge mental des enfants évalué par le subtest « Mémoire des chiffres » s'élevait en moyenne à 8.0 ans (écart-type = 1.5) et à 8.2 ans (écart-type = 0.88) par le subtest « Séquence lettres – chiffres ». Nous avons choisi d'évaluer l'âge mental des enfants au travers de subtests de mémoire de travail pour deux principales raisons. Tout d'abord, cela nous a permis de faire l'économie de la passation de tests supplémentaires chez des enfants qui sont déjà fort sollicités. Par ailleurs, ces deux subtests sont assez bien corrélés avec le score global du WISC-IV, .43 et .51 pour les subtests « Mémoire des chiffres » et « Séquences lettres – chiffres », et donnent ainsi une assez bonne image de l'efficacité cognitive de ces enfants.

Lors de la seconde session, tous les participants ont effectué la tâche d'empan de lecture de chiffres dans les deux conditions expérimentales définies par le rythme de présentation des chiffres (Figure 1). Dans cette tâche contrôlée par ordinateur, les participants devaient mémoriser des séries de lettres tout en lisant des listes de chiffres à un rythme fixe. Les mêmes séries de lettres à mémoriser ont été présentées aux participants. La longueur de ces séries augmentait au fur et à mesure de la tâche en variant de une à six lettres à mémoriser avec trois séries pour chaque longueur. Les lettres ont été sélectionnées au hasard parmi toutes les consonnes de l'alphabet à l'exception des trois consonnes peu fréquentes en Français : W, X et Z. Nous avons toutefois vérifié que les listes de let-

1. Nous n'avons malheureusement pas été autorisées à avoir accès à l'ensemble des résultats des bilans qui ont été menés par le second auteur, psychologue stagiaire.

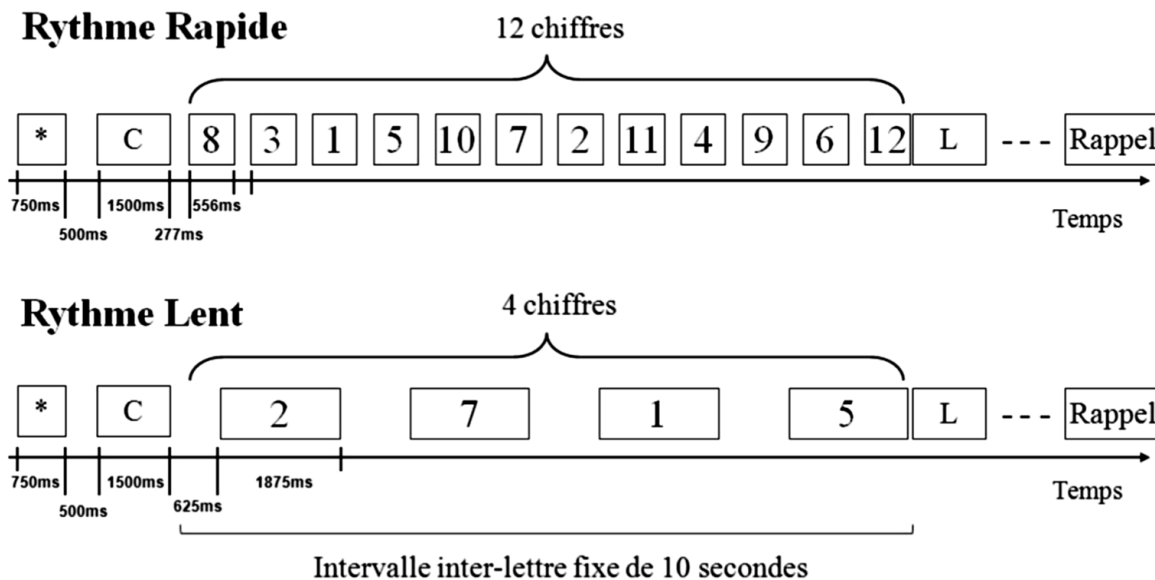


Figure 1 : Représentation schématique de la tâche d'empan de lecture de chiffres selon la condition expérimentale : rythme rapide (partie haute) ou rythme lent (partie basse).

tres ne formaient pas de répétitions, d'acronymes connus ou de chaînes alphabétiques ordonnées. Entre chaque lettre à mémoriser, des listes de nombres à lire étaient présentées séquentiellement. Ces chiffres étaient tirés aléatoirement parmi tous les nombres de 1 à 12, en prenant soin toutefois d'éviter les répétitions.

Le déroulement de chaque essai était le suivant : un signal (un astérisque) était affiché au centre de l'écran pendant 750 ms suivi, après un délai blanc de 500 ms, par la première lettre à mémoriser. Celle-ci était présentée, comme toutes les autres, au centre de l'écran et en majuscule pendant 1 500 ms. Chaque lettre était suivie par une série de chiffres successivement affichés au centre de l'écran à un rythme fixe et régulier qui varie selon la condition expérimentale. Deux rythmes différents ont été choisis parmi ceux utilisés dans l'étude de Barrouillet *et al.* (2009, Expérience 1), à savoir 1.2 et 0.4 chiffres par seconde résultant en la présentation de 12 et 4 chiffres en 10 secondes, respectivement. Le temps de présentation de chaque chiffre a été divisé en 25 % de délai et 75 % d'affichage. Ainsi, dans la condition 1.2 chiffres par seconde, les chiffres étaient affichés à l'écran pendant 556 ms après un délai de 277 ms pour un total de 833 ms, alors que ces valeurs étaient de 1 875 ms et 625 ms pour un total de 2 500 ms dans la condition 0.4 chiffres par seconde. A la fin de chaque série, le mot « Rappel » était présenté à l'écran.

Les enfants devaient lire à haute voix tous les stimuli affichés à l'écran, et maintenir puis rappeler à voix haute les lettres dans l'ordre de présentation. La tâche prenait fin quand l'enfant échouait aux trois séries d'une même longueur. Chaque

série correctement rappelée comptait pour un tiers ; le nombre total de tiers a été ajouté pour calculer le score d'empan dans chaque condition comme pour l'étude de Barrouillet *et al.* (2009). Par exemple, le rappel correct des trois séries de une et de deux lettres, de deux séries de trois lettres, et d'une série de quatre lettres correspondait à un empan de $(3+3+2+1) \times 1/3 = 3$.

L'ordre de passation des deux conditions expérimentales a été contrebalancé. Avant chaque condition expérimentale, les enfants ont été familiarisés avec le rythme de la tâche d'empan de lecture de chiffres en réalisant deux essais d'entraînement : l'un avec une série d'une lettre et l'autre avec une série de deux lettres.

Résultats

Nous avons d'abord testé l'effet de l'ordre de passation des deux conditions expérimentales et nous avons pu constater que les performances de rappel des enfants ne différaient pas significativement selon l'ordre, $F < 1$. Nous avons ensuite analysé les performances de rappel des enfants de RASED et les avons comparées à celles des enfants « tout-venant » de l'étude de Barrouillet *et al.* (2009) pour les mêmes conditions de rythmes de présentation que dans notre étude, i.e. 1.2 et 0.4 chiffres par seconde. Par contre, il n'a pas été possible de comparer au sein d'une même analyse de variance les performances de notre échantillon avec celles des enfants ayant participé à l'étude de Barrouillet *et al.* (2009), car dans cette dernière chaque condition de rythme était présentée à des groupes d'enfants différents.

L'effet habituel du rythme de la tâche a été retrouvé chez les enfants suivis en RASED. Ainsi, ces enfants rappelaient en moyenne significativement plus de lettres dans la condition rythme lent (3.56 ; écart-type = 1.04) que dans la condition rythme rapide (2.09 ; écart-type = .64), $F(1,8) = 14.03, p < .01$. Par ailleurs, les enfants suivis en RASED montraient un empan moyen de 2.8 (écart-type = 1.1) alors que les enfants « tout-venant » montraient un empan moyen de 2.5 à 8 ans, de 3.5 à 10 ans et de 4.1 à 12 ans. Ainsi les performances des enfants suivis en RASED dont l'âge chronologique approchait 11 ans se situaient entre celles des enfants de 8 ans et celles des enfants de 10 ans ne présentant pas de retard de développement (Figure 2).

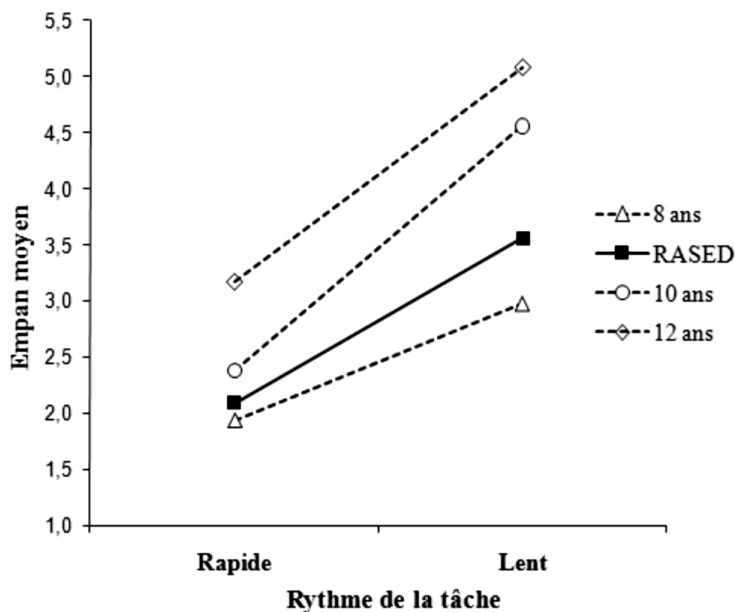


Figure 2 : Empan moyen selon le rythme de la tâche de lecture de chiffres et l'âge des enfants.

Par ailleurs, quel que soit le rythme de la tâche, les performances des enfants suivis en RASED ne différaient pas significativement de celles des enfants dont l'âge chronologique correspondait à leur âge mental, i.e. 8 ans, $t(23) = 0.60, p > .10$ et $t(23) = 1.57, p > .10$ pour les rythmes rapide et lent, respectivement. Par contre, si les performances des enfants suivis en RASED ne différaient pas de celles des enfants de 10 ans pour le rythme rapide, $t(23) = 1.02, p > .10$, elles étaient significativement plus faibles pour le rythme lent, $t(23) = 2.78, p < .05$. Ainsi, si nos données ne montraient pas de différence entre les enfants suivis en RASED et des enfants de même âge mental, elles montraient un plus large avantage des enfants de 10 ans sur les enfants de 11 ans suivis en RASED lorsque le rythme de la tâche concurrente ralentissait. Ce résultat semble suggérer que le mécanisme de rafraîchissement qui bénéficie du ralentissement de la tâche concurrente est soit moins efficace

soit moins utilisé par les enfants suivis en RASED par rapport aux enfants de 10 ans « tout-venant ». De façon congruente, l'effet du rythme de présentation de la tâche concurrente était plus prononcé chez les enfants suivis en RASED que chez les enfants de 8 ans au développement typique (différence de 1.5 points contre 1 point, respectivement). Par contre, il était moins fort chez les enfants suivis en RASED que chez les enfants de 10 ans (1.5 points contre 2.2 points, respectivement). Cet effet du rythme de la tâche concurrente permet d'évaluer l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement, qui est donc bien d'une efficacité moindre chez les enfants suivis en RASED par rapport aux enfants de 10 ans. Cependant, il existe une autre méthode permettant de caractériser l'efficacité du processus de rafraîchissement attentionnel au travers du calcul des pentes des droites de régression reliant les performances de rappel au coût cognitif de la tâche concurrente (Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011). Cette pente était de 1.84 pour les enfants suivis en RASED alors qu'elles étaient de 1.30 pour les enfants de 8 ans et de 2.73 pour les enfants de 10 ans. Plus la pente est élevée, plus le mécanisme de rafraîchissement est efficace, puisque le moindre temps additionnel disponible est mis à profit pour rafraîchir les traces mémorielles, ce qui accroît les performances de rappel. Les résultats sur les pentes des droites de régression confirmaient donc que l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement chez les enfants suivis en RASED était située entre celle des enfants de 8 ans et celle des enfants de 10 ans, en étant nettement inférieure à ces derniers.

Enfin, les droites de régression permettaient également d'estimer les capacités de stockage, l'ordonnée à l'origine évaluant le nombre d'informations pouvant être stocké en l'absence d'une tâche concurrente, i.e. lorsque le coût cognitif est nul, ce qui est également nommé dans la littérature comme la capacité de mémoire à court terme. Ainsi, l'ordonnée à l'origine de la droite de régression pour les enfants suivis en RASED (4.30) était située entre celle des enfants de 8 ans (3.50) et celle des enfants de 10 ans (5.65). Comme pour les performances moyennes de rappel ou l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement, les capacités pures de stockage des enfants suivis en RASED étaient intermédiaires à celles des enfants de 8 et 10 ans, en étant plus proches de ce qui était observé à 8 ans.

Discussion

Le but de cette étude était d'étudier si le fonctionnement de la MdT des enfants en difficulté scolaire et bénéficiant d'un suivi en RASED était

similaire à celui d'enfants ne présentant pas de difficultés scolaires mais plus jeunes, ou s'il présentait certaines particularités le rendant atypique. Pour cela, nous avons comparé les résultats d'enfants présentant des difficultés scolaires à ceux obtenus par Barrouillet *et al.* (2009, Expérience 1) sur des enfants « tout-venant » de différents âges.

Nos résultats montrent que les enfants suivis en RASED sont sensibles aux modifications du rythme de la tâche concurrente puisqu'ils ont des performances de mémorisation plus faibles lorsque le rythme augmente. Ainsi, les capacités de MdT des enfants en difficulté scolaire sont fonction de la proportion de temps pendant laquelle le traitement occupe l'attention. Ce résultat suggère que, comme nous avons pu l'observer lors du développement typique, les enfants suivis en RASED utilisent le mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Cela constitue un très bon signe pour le développement futur de ces enfants. En effet, tout apprentissage nécessite le maintien à court terme d'informations le plus souvent verbales, surtout dans le cadre de l'enseignement scolaire où instructions ou énoncés de problèmes sont sous forme verbale. L'absence d'un mécanisme de maintien de ces informations conduirait nécessairement à l'échec de ces enfants dans les tâches scolaires. Par ailleurs, les informations verbales maintenues au travers du rafraîchissement attentionnel sont efficacement transférées en mémoire à long terme (Camos, Portrat, & Oberauer, soumis; McCabe, 2008). Ainsi, la mise en œuvre du rafraîchissement attentionnel est donc primordiale aussi bien pour le maintien à court terme d'informations que pour l'acquisition de nouvelles connaissances.

La comparaison des résultats des enfants de notre étude avec ceux des enfants de l'étude de Barrouillet *et al.* (2009) montre que les capacités de mémorisation des enfants suivis en RASED et âgés de 11 ans sont situées entre celles d'enfants « tout-venant » de 8 et de 10 ans. Dans la condition ayant un rythme rapide, la contrainte s'exerçant sur le rafraîchissement attentionnel est maximum. Ainsi, les performances de rappel dans cette condition dépendent principalement des capacités de stockage puisqu'il y a peu de possibilités de rafraîchissement. Dans cette condition, les enfants en difficulté scolaire ont des capacités inférieures à celles des enfants de 10 ans et similaires à celles des enfants dits « tout-venant » de 8 ans. L'estimation de la capacité de stockage par l'ordonnée à l'origine des droites de régression, reliant les performances de rappel au coût cognitif de la tâche concurrente, va également dans ce sens. Ainsi, la capacité de stockage des enfants en difficulté scolaire est inférieure à celle d'enfants

de leur âge chronologique à développement typique et plutôt proche de celle d'enfants ayant un âge mental similaire. Les enfants en difficulté scolaire présentent donc un retard de développement dans la capacité de stockage.

Par ailleurs, la différence entre le rythme rapide et le rythme lent, ainsi que la pente de la droite de régression, permettent d'évaluer la capacité des enfants à mettre en œuvre le mécanisme de rafraîchissement attentionnel. L'effet du rythme de la tâche concurrente est, tout comme les capacités de stockage, intermédiaire à ce qui est observé chez les enfants de 8 et 10 ans. On note que là aussi, les enfants en difficulté scolaire ont des performances inférieures aux enfants de 10 ans, ce qui conduit à un effet du rythme de la tâche de traitement plus fort à 10 ans que chez les enfants en difficultés scolaires. Par contre, l'effet du rythme de la tâche concurrente est assez similaire à celui des enfants de 8 ans. Le fonctionnement de leurs mécanismes de maintien semble donc aussi efficace que chez les enfants de 8 ans. Ces résultats vont donc dans le sens d'un retard de développement du mécanisme de rafraîchissement chez ces enfants présentant des difficultés scolaires.

Pour conclure, les enfants présentant des difficultés scolaires dont l'origine ne se situe pas dans un domaine spécifique ne montrent pas un fonctionnement atypique de la mémoire de travail. Comme chez l'adulte et au cours du développement typique, les performances mnésiques de ces enfants sont sensibles au coût cognitif de la tâche concurrente. De plus, la relation reliant ce coût cognitif aux performances de rappel de ces enfants est de la même forme que celle observée chez l'adulte et l'enfant sans difficulté scolaire. Les enfants avec difficultés scolaires présentent plutôt un pattern de performances typique d'enfants plus jeunes. Dans notre étude, leurs performances sont tout à fait similaires à celles d'enfants dont l'âge chronologique est équivalent à leur âge mental. Si ces résultats constituent plutôt un bon signe pronostique pour le devenir de ces enfants, nous ne pouvons néanmoins pas prédire quel sera leur parcours développemental. En effet, leur développement pourrait se poursuivre avec ce retard, i.e. les enfants en difficulté scolaire bénéficieraient d'un accroissement de leur capacité de stockage et de l'efficacité du rafraîchissement attentionnel, comme c'est le cas pour les enfants sans difficulté, mais tout en restant inférieures à celles de leurs pairs de même âge. Par contre, il reste possible que soit la capacité de stockage soit l'efficacité du rafraîchissement ne poursuive pas son développement. En effet, bien que les déterminants du développement de ces deux aspects de la mémoire de travail ne soient pas

encore parfaitement connus, ils seraient indépendants (Bayliss, Jarrold, Gunn & Baddeley, 2003). Cette étude avait un but exploratoire et elle portait

sur un nombre restreint d'enfants. De futures recherches sont donc nécessaires afin de vérifier et d'étendre ces résultats préliminaires.

Remerciements

Les auteurs remercient l'inspection académique de Côte-d'Or, la direction et les enseignants de l'école Marie Maignot à Nuits-Saint-Georges, ainsi que les parents et enfants qui ont rendu cette étude possible. Ils remercient également Valérie Barry pour sa relecture et ses commentaires.

Références

- Alloway, T. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment*, 25(2), 92-98.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrouillet, P. (1996). Transitive inferences from set inclusion relations and working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 22, 1408-1422.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 83-100.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007a). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey (Ed.), *Psychologie du développement et de l'éducation* (pp. 51-86). Paris: PUF.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007b). The time based resource sharing model of working memory. In N. Osaka, R. Logie & M. D'Esposito (Eds.), *Working memory: Behavioral and neural correlates*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrouillet, P., Camos, V., Morlaix, S., Suchaut, B. (2008). Compétences scolaires, capacités cognitives et origine sociale : Quels liens à l'école élémentaire ? *Revue Française de Pédagogie*, 162, 5-14.
- 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.
- Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working Memory. *Psychological Review*, 118(2), 175-192.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 71-92.
- Camos, V. & Barrouillet, P. (2011). Developmental Change in Working Memory Strategies: From passive maintenance to active refreshing. *Developmental Psychology*, 47, 898-904.
- Camos, V., Portrat, S., & Oberauer, K. (soumis). Two mechanisms of maintenance in verbal working memory: Evidence from delayed recall.
- Conway, A.R.A., Jarrold, C., Kane, M.J., Miyake, A., & Towse, J.N. (2008). *Variation in working memory*. New York: Oxford University Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 19-23.
- Gavens, N., & Camos, V. (2006). La mémoire de travail : une place centrale dans les apprentissages scolaires fondamentaux. In E. Gentaz & P. Dessus (eds.), *Apprentissages et enseignement : Sciences cognitives et éducation* (pp. 91-106). Paris: Dunod.
- Lépine, R., Barrouillet, P., & Camos, V. (2005). What makes working memory spans so predictive of high-level cognition ? *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, 165-170.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McCabe, D. P. (2008). The role of covert retrieval in working memory span tasks: Evidence from delayed recall tests. *Journal of Memory and Language*, 58, 480-494.
- Wechsler, D. (2005). *The Wechsler Intelligence Scale for Children-Fourth Edition (WISC-IV)*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.